



**FORMATO DE AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN DE TESIS Y TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN,  
PARA OPTAR GRADOS ACADÉMICOS Y TÍTULOS PROFESIONALES EN EL  
REPOSITORIO INSTITUCIONAL DIGITAL - UNASAM**

Conforme al Reglamento del Repositorio Nacional de Trabajos de Investigación – RENATI.  
Resolución del Consejo Directivo de SUNEDU N° 033-2016-SUNEDU/CD

**1. Datos del Autor:**

Apellidos y Nombres: **ROMERO FLORES JESUS MIGUEL.**

Código de alumno: 091.0904.134

Teléfono: 943926002

Correo electrónico: [jesuz.rf@gmail.com](mailto:jesuz.rf@gmail.com)

DNI o Extranjería: 47782576

**2. Modalidad de trabajo de investigación:**

Trabajo de investigación

Trabajo académico

Trabajo de suficiencia profesional

Tesis

**3. Título profesional o grado académico:**

Bachiller

Título

Segunda especialidad

Licenciado

Magister

Doctor

**4. Título del trabajo de investigación:**

“ESTABILIZACION DE SUELOS DE SUBRASANTE USANDO EL RELAVE MINERO DE TICAPAMPA EN LA CARRETERA EMP.PE 3N (CATAC) – TÚNEL KAHUISH – CHAVIN DE HUANTAR – SAN MARCOS – EMP.PE – 14A (SUCCHA) – 2017”

**5. Facultad de:** INGENIERIA CIVIL.

**6. Escuela, Carrera o Programa:** INGENIERIA CIVIL.

**7. Asesor:**

Apellidos y Nombres: **ELIO ALEJANDRO MILLA VERGARA** Teléfono: 944931238

Correo electrónico: [emillav@hotmail.com](mailto:emillav@hotmail.com)

DNI o Extranjería: 31666219

A través de este medio autorizo a la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, publicar el trabajo de investigación en formato digital en el Repositorio Institucional Digital, Repositorio Nacional Digital de Acceso Libre (ALICIA) y el Registro Nacional de Trabajos de Investigación (RENATI).

Asimismo, por la presente dejo constancia que los documentos entregados a la UNASAM, versión impresa y digital, son las versiones finales del trabajo sustentado y aprobado por el jurado y son de autoría del suscrito en estricto respeto de la legislación en materia de propiedad intelectual.

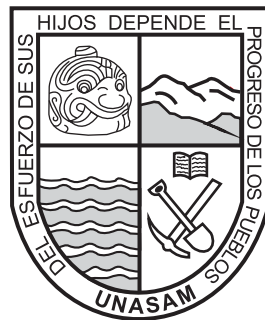
Firma: 

D.N.I.: 47782576

FECHA: 

14	/	12	/	2020
----	---	----	---	------

**UNIVERSIDAD NACIONAL  
“SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO”  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**TESIS**

**“ESTABILIZACION DE SUELOS DE SUBRASANTE  
USANDO EL RELAVE MINERO DE TICAPAMPA  
EN LA CARRETERA EMP.PE 3N (CATAC) –  
TÚNEL KAHUISH – CHAVIN DE HUANTAR – SAN  
MARCOS – EMP.PE – 14A (SUCCHA) - 2017”**

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO CIVIL**

**Presentado por:**

**Bach. JESUS MIGUEL ROMERO FLORES**

**Asesor: Ing. ELIO ALEJANDRO MILLA VERGARA**

**HUARAZ – ANCASH – PERÚ**

**2020**

## **DEDICATORIA**

### **A Dios:**

Por cada día regalado, cada lección aprendida, por ser el guía que enrumba mi camino y por todas las bendiciones que me ha dado.

### **A mis padres:**

Esther Flores y Miguel Romero, quienes me dieron la vida y desde muy temprana edad me enseñaron los valores de la vida. Mi madre quien me enseñó el verdadero significado de la perseverancia y mi padre que con su ejemplo me demostró que lo más importante es la familia.

### **A mis abuelos:**

Por cada consejo y experiencia transmitida, por la confianza brindada, por ayudar en mi desarrollo académico y personal.

### **A mis amigos:**

Por el apoyo constante, la motivación de superación que siempre nos brindamos, por siempre estar en las buenas y malas y por demostrar que podemos ser familia sin llevar la misma sangre.

## **AGRADECIMIENTO**

Le doy gracias a Dios por ser mi guía en cada paso de mi vida por todas las bendiciones recibidas, a la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo por ser mi alma mater, a la Facultad de Ingeniería Civil por brindarme el conocimiento necesario para convertirme en un profesional de bien.

A mi familia por su apoyo incondicional desde el inicio de la carrera, a mis amigos por motivarme cada día a seguir superándome por permitirme compartir con ellos agradables momentos.

A mi asesor y jurados que con su continuo apoyo y motivación hicieron posible la realización de esta tesis.

## ÍNDICE

<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>i</b>
<b>AGRADECIMIENTO .....</b>	<b>ii</b>
<b>ÍNDICE .....</b>	<b>iii</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS .....</b>	<b>viii</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>x</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>xii</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>xiii</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>xiv</b>
<b>CAPITULO I .....</b>	<b>1</b>
<b>PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1. SITUACIÓN PROBLEMÁTICA .....</b>	<b>1</b>
<b>1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....</b>	<b>2</b>
1.2.1. PROBLEMA GENERAL .....	2
1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS .....	2
<b>1.3. JUSTIFICACIÓN.....</b>	<b>3</b>
<b>1.4. HIPÓTESIS Y VARIABLES .....</b>	<b>3</b>
1.4.1. HIPÓTESIS GENERAL.....	3
1.4.2. HIPÓTESIS ESPECIFICAS .....	3
1.4.3. VARIABLES .....	4
<b>1.5. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS. ....</b>	<b>4</b>
<b>1.6. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>7</b>
1.6.1. GENERAL.....	7
1.6.2. ESPECÍFICOS .....	7
<b>1.7. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>7</b>

<b>CAPITULO II .....</b>	<b>13</b>
<b>GENERALIDADES DE LOS RELAVES MINEROS .....</b>	<b>13</b>
<b>2.1. RELAVES MINEROS .....</b>	<b>13</b>
2.1.1. TIPOS Y CARACTERÍSTICAS DE LOS RELAVES .....	14
2.1.2. PROCESOS DE RELAVE MINERO .....	15
2.1.3. TRANSPORTE DE RELAVES .....	16
2.1.4. PUNTOS DE DESCARGA EN CANCHA DE RELAVES .....	17
<b>2.2. PROBLEMÁTICA DE LOS RESIDUOS MINEROS EN EL PERÚ.18</b>	<b>18</b>
2.2.1. DESARROLLO HISTÓRICO DE LA TECNOLOGÍA DE RELAVES	18
2.2.2. CARACTERÍSTICAS DE LA INDUSTRIA MINERA .....	19
<b>2.3. CLASIFICACIÓN DE LA MINERIA PERUANA .....</b>	<b>21</b>
2.3.1. POR LA NATURALEZA DE LAS SUSTANCIAS .....	21
2.3.2. POR LA FORMA DE LOS YACIMIENTOS .....	21
2.3.3. POR SU MÉTODO DE EXPLOTACIÓN .....	22
2.3.4. POR EL VALOR ECONÓMICO DE LAS SUSTANCIAS .....	22
2.3.5. POR LA UBICACIÓN DE MINERALES .....	22
2.3.6. SEGÚN SU TAMAÑO .....	22
2.3.7. POR EL TIPO DE PRODUCCIÓN .....	23
2.3.8. POR SU LEGALIDAD .....	23
<b>2.4. ESTUDIOS DE IMPACTO AMBIENTAL .....</b>	<b>23</b>
<b>2.5. RELAVE MINERO DE TICAPAMPA.....</b>	<b>24</b>
<b>CAPITULO III .....</b>	<b>25</b>
<b>SUELO DE LA SUBRASANTE .....</b>	<b>25</b>
<b>3.1. GENERALIDADES .....</b>	<b>25</b>
3.1.1. CARÁCTERÍSTICAS DE ACEPTACIÓN DEL SUELO PARA SUBRASANTE.....	26
3.1.2. COMPOSICIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL Y LA RED NACIONAL.....	27
<b>3.2. ENSAYOS DE LABORATORIO .....</b>	<b>29</b>
3.2.1. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELO POR TAMIZADO (MTC E 107). .....	29
3.2.2. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DE UN SUELO (MTC E 108). .....	31

3.2.3.	DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO DE LOS SUELOS (MTC E 110).	31
3.2.4.	DETERMINACIÓN DEL LÍMITE PLASTICO DE LOS SUELOS E ÍNDICE DE PLASTICIDAD (MTC E 111).	32
3.2.5.	COMPACTACIÓN DE SUELOS EN LABORATORIO UTILIZANDO ENERGÍA MODIFICADA (MTC E 115).	33
3.2.6.	CBR DE SUELOS COMPACTADOS EN LABORATORIO (MTC E 132).	34
<b>3.3.</b>	<b>ESTABILIZACIÓN DE SUELOS.</b>	<b>35</b>
3.3.1.	MÉTODOS DE ESTABILIZACIÓN DE SUELOS	36
	ESTABILIZACIÓN POR COMPACTACIÓN	37
	ESTABILIZACIÓN POR COMBINACIÓN O SUSTITUCIÓN DE SUELOS	38
	SUELOS ESTABILIZADOS CON CAL	38
	SUELOS ESTABILIZADOS CON CEMENTO	40
	ESTABILIZACIÓN MEDIANTE TRATAMIENTOS QUÍMICOS.	42
	ESTABILIZACIÓN CON PRODUCTOS ASFALTICOS.	44
	ESTABILIZACIÓN CON GEOSINTÉTICOS.	45
<b>CAPITULO IV</b>		<b>47</b>
<b>METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN</b>		<b>47</b>
<b>4.1.</b>	<b>PERSPECTIVA METODOLOGÍA Y TIPO DE INVESTIGACIÓN</b>	<b>47</b>
4.1.1.	PERSPECTIVA METODOLÓGICA	47
4.1.2.	TIPO DE INVESTIGACIÓN	47
<b>4.2.</b>	<b>LIMITES DE LA INVESTIGACIÓN</b>	<b>48</b>
<b>4.3.</b>	<b>CONTEXTO Y UNIDAD DE ANÁLISIS: POBLACIÓN Y MUESTRA</b>	<b>49</b>
4.3.1.	CONTEXTO	49
4.3.2.	UNIDAD DE ANÁLISIS: POBLACIÓN Y MUESTRA	50
<b>4.4.</b>	<b>METODOS Y RECURSOS EMPLEADOS</b>	<b>52</b>
<b>4.5.</b>	<b>PROCEMIENTO DE RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS.</b>	<b>56</b>
<b>CAPITULO V</b>		<b>57</b>
<b>DISCUSIÓN DE RESULTADOS</b>		<b>57</b>

<b>5.1.</b>	<b>PROPIEDADES DEL RELAVE MINERO DE TICAPAMPA.....</b>	<b>58</b>
5.1.1.	ANÁLISIS QUÍMICO.....	58
5.1.2.	ANÁLISI FÍSICO.....	60
<b>5.2.</b>	<b>PROPIEDADES DEL SUELO DE SUBRASANTE DE LA CARRETERA EMP.PE 3N (CATAC) – TUNEL KAHUISH – CHAVÍN DE HUÁNTAR – SAN MARCOS – EMP.PE-14A (SUCCHA).....</b>	<b>62</b>
5.2.1.	HUMEDAD NATURAL.....	62
5.2.2.	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO .....	63
5.2.3.	DETERMINACIÓN DE LOS LÍMITES DE CONSISTENCIA .....	64
5.2.4.	ENSAYO Y COMPACTACIÓN DE SUELOS EN LABORATORIO UTILIZANDO UNA ENERGÍA MODIFICADA.....	66
5.2.5.	ENSAYO DE C.B.R. DE LOS SUELOS COMPACTADOS EN LABORATORIO .....	67
<b>5.3.</b>	<b>PROPIEDADES DEL SUELO DE SUBRASANTE DE LA CARRETERA EMP.PE 3N (CATAC) – TUNEL KAHUISH – CHAVÍN DE HUÁNTAR – SAN MARCOS – EMP.PE-14A (SUCCHA) ESTABILIZADA CON EL RELAVE MINERO DE TICAPAMPA.....</b>	<b>69</b>
5.3.1.	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO .....	70
5.3.2.	DETERMINACIÓN DE LOS LIMITES DE CONSISTENCIA .....	70
5.3.3.	ENSAYO DE COMPACTACIÓN DE SUELOS EN LABORATORIO UTILIZANDO UNA ENERGÍA MODIFICADA.....	71
5.3.1.	ENSAYO DE C.B.R. DE LOS SUELOS COMPACTADOS EN LABORATORIO .....	71
<b>5.4.</b>	<b>CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS .....</b>	<b>72</b>
5.4.1.	CALICATA N°1 .....	72
5.4.2.	CALICATA N°2.....	75
5.4.3.	CALICATA N°3.....	78
	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>81</b>
	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>83</b>
	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>84</b>
	<b>ANEXOS .....</b>	<b>88</b>
	<b>ANEXO A. PANEL FOTOGRÁFICO .....</b>	<b>88</b>



<b>ANEXO B. ENSAYOS DE LABORATOTIO.....</b>	<b>91</b>
B.1. RELAVEMINERO DE TICAPAMPA .....	91
B.2. CALICATA N°1 – SUELO DE LA SUBRASANTE.....	95
B.3. CALICATA N°1 – SUELO DE LA SUBRASANTE + 5% DEL RELAVE MINERO DE TICAPAMPA.....	104
B.4. CALICATA N°1 – SUELO DE LA SUBRASANTE + 10% DEL RELAVE MINERO DE TICAPAMPA.....	112
B.5. CALICATA N°2 – SUELO DE LA SUBRASANTE.....	120
B.6. CALICATA N°2 – SUELO DE LA SUBRASANTE + 5% DEL RELAVE MINERO DE TICAPAMPA.....	129
B.7. CALICATA N°2 – SUELO DE LA SUBRASANTE + 10% DEL RELAVE MINERO DE TICAPAMPA.....	137
B.8. CALICATA N°3 – SUELO DE LA SUBRASANTE.....	145
B.9. CALICATA N°3 – SUELO DE LA SUBRASANTE + 5% DEL RELAVE MINERO DE TICAPAMPA.....	154
B.10. CALICATA N°3 – SUELO DE LA SUBRASANTE + 10% DEL RELAVE MINERO DE TICAPAMPA.....	162

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características físicas de relaves.....	15
Tabla 2. Clasificación de concesiones según la naturaleza de las sustancias. ....	21
Tabla 3. Clasificación de la minería por su tamaño.....	22
Tabla 4. Distribución de la producción minera por producto y tamaño 2006.....	23
Tabla 5. Categorías de subrasante.....	26
Tabla 6. Carreteras que conforman el clasificador de rutas del SINAC .....	28
Tabla 7. Clasificación de suelos según tamaño de partículas. ....	30
Tabla 8. Equipos utilizados ensayo MTC E 107.....	30
Tabla 9. Clasificación de suelos según Índice de Plasticidad.....	32
Tabla 10. Rango de cemento requerido en estabilización de suelos.....	41
Tabla 11. Plan de recolección, procesamiento e interpretación de información.....	56
Tabla 12. Contenido de metales (g/t) presente en los relaves de Ticapampa. ....	58
Tabla 13. Mineralogía del relave .....	59
Tabla 14. Análisis granulométrico del relave minero de Ticapampa.....	60
Tabla 15. Características físicas del relave minero de Ticapampa. ....	61
Tabla 16. Resumen contenido de humedad de la subrasante. ....	63
Tabla 17. Porcentaje de contenido de grava, arena y finos de los suelos. ....	64
Tabla 18. Límites de consistencia del suelo de la subrasante. ....	65
Tabla 19. Clasificación del suelo de la subrasante.....	65
Tabla 20. Proctor modificado del suelo de la subrasante.....	66
Tabla 21. Ensayo CBR del suelo de la subrasante. ....	67
Tabla 22. Características del suelo de la subrasante Calicata N° 1.....	68
Tabla 23. Características del suelo de la subrasante Calicata N° 2.....	68
Tabla 24. Características del suelo de la subrasante Calicata N° 3.....	69

Tabla 25. Porcentaje de contenido de grava, arena y finos de los suelos estabilizados con el relave minero de Ticapampa. ....	70
Tabla 26. Límites de consistencia del suelo de la subrasante estabilizado con el relave minero de Ticapampa. ....	70
Tabla 27. Clasificación del suelo de la subrasante con la adición de relave minero de Ticapampa. ....	70
Tabla 28. Proctor modificado del suelo de la subrasante estabilizado con el relave minero de Ticapampa. ....	71
Tabla 29. Ensayo CBR del suelo de la subrasante estabilizado con el relave minero de Ticapampa. ....	71
Tabla 30. Características del suelo de la calicata N°1 en su estado natural y estabilizado con 5% y 10% de relave. ....	72
Tabla 31. Características del suelo de la calicata N°2 en su estado natural y estabilizado con 5% y 10% de relave. ....	75
Tabla 32. Características del suelo de la calicata N°3 en su estado natural y estabilizado con 5% y 10% de relave. ....	78

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Procesamiento del relave minero. ....	16
Figura 2. Estabilización de suelos según Winterkorn y Pamukcu. ....	36
Figura 3. Ensayo: límite líquido del relave minero de Ticapampa. ....	62
Figura 4. Peso de la muestra seca más el recipiente en la determinación del contenido de humedad. ....	63
Figura 5. Granulometría de los suelos. ....	64
Figura 6. Determinación del límite líquido. ....	65
Figura 7. Instrumentos para el desarrollo del Ensayo de compactación con energía modificada. ....	66
Figura 8. Ensayo de C.B.R. ....	67
Figura 9: Desarrollo de la M.D.S. de la calicata N°1 con la adición de relave minero. ....	73
Figura 10: Desarrollo de la C.H.O. de la calicata N°1 con la adición de relave minero. ....	73
Figura 11: Desarrollo del % de C.B.R. al 95% de la calicata N°1 con la adición del relave minero. ....	74
Figura 12: Desarrollo del % de C.B.R. al 100% de la calicata N°1 con la adición del relave minero. ....	74
Figura 13. Desarrollo de la M.D.S. de la calicata N°2 con la adición de relave minero. ....	76
Figura 14. Desarrollo de la C.H.O. de la calicata N°2 con la adición de relave minero. ....	76
Figura 15. Desarrollo del % de C.B.R. de la calicata N°2 al 95% con la adición del relave minero. ....	77

Figura 16. Desarrollo del % de C.B.R. de la calicata N°2 al 100% con la adición del relave minero. ....	77
Figura 17. Desarrollo de la M.D.S. de la calicata N°3 con la adición de relave minero.....	79
Figura 18. Desarrollo de la C.H.O. de la calicata N°3 con la adición de relave minero.....	79
Figura 19. Desarrollo del % de C.B.R. de la calicata N°3 al 95% con la adición del relave minero. ....	80
Figura 20. Desarrollo del % de C.B.R. de La calicata N°3 al 100% con la adición del relave minero. ....	80

## RESUMEN

Esta investigación evalúa las propiedades mecánicas del suelo de la subrasante, de la carretera EMP.PE 3N (Catac) – túnel Kahuish – Chavín de Huántar – San Marcos – EMP.PE-14A (Succha), estabilizada con el relave minero de Ticapampa.

Para lo cual se realizó los ensayos de análisis granulométrico por tamizado, límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad y se recopiló información de investigaciones anteriores para poder caracterizar el relave minero. Además, se extrajeron muestras de suelo de la carretera a través de tres calicatas en las progresivas km 62+440, km 62+540 y km 70+120; para preparar muestras sin estabilizar y muestras estabilizadas al 5% y 10% en peso con relave minero; con lo que se realizó los ensayos de: humedad natural, análisis granulométrico por tamizado, límite líquido, límite plástico, índice de plasticidad, compactación de suelos en laboratorio con energía modificada y C.B.R.

El suelo de la subrasante se clasifica según AASHTO como A-2-6(0), A-6(3) y A-6(1), obteniendo una relación de soporte C.B.R. al 95 % de 8.0 %, 7.7 %, 13.1 % respectivamente para cada calicata.

El suelo estabilizado al 5% obtuvo un C.B.R. al 95 % de 9.5 %, 9.8 % y 19.5 % para cada calicata; y el suelo estabilizado al 10 % obtuvo un C.B.R. al 95 % de 13.3 %, 11.7 % y 21.2 % para cada calicata.

Con lo que se concluye que el relave minero de Ticapampa estabiliza el suelo de la subrasante de la carretera EMP.PE 3N (Catac) – túnel Kahuish – Chavín de Huántar – San Marcos – EMP.PE-14A (Succha).

**Palabras claves:** Relave minero de Ticapampa; estabilización de suelos con relave minero.

## ABSTRACT

This investigation evaluates the mechanical properties of the subgrade soil, of the EMP.PE 3N (Catac) - Kahuish tunnel - Chavín de Huántar - San Marcos - EMP.PE-14A (Succha), stabilized with the Ticapampa mining tailings.

For which the tests of granulometric analysis by sieving, liquid limit, plastic limit and plasticity index were performed and information from previous investigations was collected to be able to characterize the mining tailings. In addition, soil samples were extracted from the road through three pits in the progressive km 62 + 440, km 62 + 540 and km 70 + 120; for preparing unstabilized samples and stabilized samples at 5% and 10% by weight with mining tailings; with which the tests of: natural humidity, sieve granulometric analysis, liquid limit, plastic limit, plasticity index, soil compaction in laboratory with modified energy and C.B.R. The subgrade floor is classified according to AASHTO as A-2-6 (0), A-6 (3) and A-6 (1), obtaining a support ratio C.B.R. 95% of 8.0%, 7.7%, 13.1% respectively to each pits.

The 5% stabilized soil obtained a C.B.R. 95% of 9.5%, 9.8% and 19.5% for each calicata; and the 10% stabilized soil obtained a C.B.R. 95% of 13.3%, 11.7% and 21.2% for each pits.

This concludes that the Ticapampa mining tailings stabilize the ground of the subway of the EMP.PE 3N (Catac) - Kahuish tunnel - Chavín de Huántar - San Marcos - EMP.PE-14A (Succha).

**Keywords:** Ticapampa mining tailings; soil stabilization with mining tailings.

## INTRODUCCIÓN

En el distrito minero de Ticapampa, departamento de Ancash, provincia de Recuay se encuentra abandonado el depósito de relaves “Alianza”, este depósito es uno de los más grandes en extensión en esta zona. Este relave, el cual es un residuo sólido minero, resultado de operaciones de tratamiento de beneficio metalúrgico por flotación constituye un importante pasivo ambiental, que se encuentra produciendo impacto negativo, debido a la contaminación del medio natural de la cuenca del río Santa por la presencia de metales pesados.

Bajo estos parámetros se hace necesario el hacer el estudio para una alternativa de uso de este relave. Una de las posibles alternativas para el uso del relave, consiste en incorporarlo como estabilizador de suelos en los proyectos de pavimentación donde las condiciones de la subrasante no cumplan con los parámetros requeridos para ser usados en el diseño estructural.

La presente investigación analizó el relave que se encuentra en Ticapampa en su uso en el mejoramiento de la subrasante (incremento del soporte de suelo) de la carretera EMP. PE 3N (Cátac) – túnel Kahuish – Chavín de Huántar – San Marcos – EMP. PE – 14 A (Succha) en las progresivas km 62+440, km 62+540 y km 70+120. Debemos aclarar que esta investigación se realizará para el caso donde la estructura del pavimento conste de subrasante base y/o súbbase y capa de rodadura, para de esta manera mitigar el posible impacto ambiental que podría generar el uso de relaves minero. Esta consideración es detallada en la investigación.



## **CAPITULO I**

### **PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **1.1. SITUACIÓN PROBLEMÁTICA**

En la actualidad el problema de la actividad minero-metalúrgica en el país es la adecuada disposición y almacenaje de los subproductos que se generan en el procesamiento de extracción de los minerales, a estos comúnmente se les suele llamar “relaves”. Estos relaves mineros no son utilizados y se desconocen sus posibles aplicaciones.

Como afirma Anicama, G. (2010) “La inadecuada disposición de estos relaves y desmontes, así como los métodos inapropiados para su tratamiento; han causado casos graves de filtraciones, drenaje de ácidos y contaminación de cuerpos acuíferos, así como otros efectos negativos en la biodiversidad y los ecosistemas. Debido a que la industria minera genera gran cantidad de relaves, y necesita mucho espacio para su disposición y almacenaje, sería de mucha utilidad encontrar una tecnología que recicle o reutilice el relave minero sin afectar con su uso al medio ambiente, así podría generar menos contaminación, mayor tiempo de vida útil a las presas y depósitos de relave; y menores costos en las operaciones mineras en general”.

Ancash, es una de las regiones con mayor cantidad de yacimientos mineros y con serios problemas socioambientales debido a la presencia de pasivos ambientales abandonados.

En el distrito minero de Ticapampa se encuentra abandonado el depósito de relaves “Alianza”, este depósito es uno de los más grandes en extensión en esta zona (longitud

aproximada de 750m, una altura máxima de 15m y una inclinación promedio de 25°). Este relave constituye un importante pasivo ambiental, que se encuentra produciendo impacto negativo, debido a la contaminación del medio natural de la cuenca del río Santa por la presencia de metales pesados.

La carretera EMP.PE 3N (Catac) – túnel Kahuish – Chavín de Huántar – San Marcos – EMP.PE-14A (Succha) es una de las más importantes en la región de Ancash, pues es una de las que une el callejón de Huaylas con el callejón de Conchucos, además resulta ser una de las vías de transporte minero, se debe de recordar que la actividad minera metalúrgica es la principal fuente de ingreso para la región, he de ahí la importancia de la carretera.

A través del tiempo la carretera ha tenido infinidad de estudios y proyectos ejecutados con la finalidad de mejorar la transitabilidad de la carretera. Uno de estos proyectos es el “MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA DEPARTAMENTAL: EMP.PE-3N (CÁTAC) - TÚNEL KAHUISH - CHAVÍN DE HUÁNTAR – SAN MARCOS - EMP. PE-14 A (SUCCHA)”, proyecto impulsado por la ley de obras por impuestos.

En dicho proyecto se detectó zonas donde las características del suelo de la subrasante resultan insuficientes, y se hace necesario su estabilización.

Envista a la problemática señalada se realizó esta investigación con el fin de determinar un posible uso del relave como estabilizante de suelo de subrasante de la carretera en estudio.

## **1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

### **1.2.1. PROBLEMA GENERAL**

¿Cuánto mejorará la estabilización de los suelos de subrasante usando el relave minero de Ticapampa en la carretera EMP.PE 3N (Catac) – túnel Kahuish – Chavín de Huántar – San Marcos – EMP.PE-14A (Succha)?

### **1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS**

- 1) ¿Con qué propiedades cuenta el relave minero de Ticapampa para su uso en la estabilización de suelos de subrasante de la carretera EMP.PE (Cátac) – túnel Kahuish – Chavín de Huántar – San Marcos – EMP.PE-14A (Succha)?
- 2) ¿Cuáles serán las propiedades del suelo de subrasante de la carretera EMP.PE 3N (Cátac) – túnel Kahuish – Chavín de Huántar – San Marcos – EMP.PE-14A (Succha)?

- 3) ¿Cuáles son las propiedades del suelo de subrasante estabilizada con el relave minero de Ticapampa en la carretera EMP.PE 3N (Catac) – túnel Kahuish – Chavín de Huántar – San Marcos – EMP.PE-14A (Succha)?

### **1.3. JUSTIFICACIÓN**

Esta investigación se realizó con el fin de plantear una propuesta de solución para el mejoramiento de la subrasante en las progresivas km 62+440, km 62+540 y km 70+120 de la carretera EMP.PE (Catac) – túnel Kahuish – Chavín de Huántar – San Marcos – EMP.PE-14A (Succha) con el uso del relave minero de Ticapampa.

Se realizó la investigación, pues en la actualidad se desconocen las posibles aplicaciones del relave. Encontrar un uso favorable a estos relaves significaría resolver uno de los problemas más importantes de la actividad minero-metalúrgica en el país, la adecuada disposición de los relaves mineros.

La relevancia de este tipo de investigación se da, pues si se logrará permitiría reciclar o reutilizar el relave minero sin afectar al medio ambiente, esto reduciría la contaminación, incrementaría el tiempo de servicio de los depósitos de relave y generaría menores costos para las empresas mineras.

En ese sentido, es importante promover la reutilización del relave del depósito minero en Ticapampa a fin de reducir su volumen, puesto que se ha convertido en un pasivo ambiental y su rango de influencia se extiende en todo el callejón de Huaylas. No obstante, cabe mencionar que existe la posibilidad que la estabilización con relave minero podría generar un impacto ambiental en las zonas estabilizadas en la carretera, esta posibilidad es materia de otra investigación.

### **1.4. HIPÓTESIS Y VARIABLES**

#### **1.4.1. HIPÓTESIS GENERAL**

El uso del relave minero de Ticapampa mejora la estabilización de suelos de subrasante en la carretera EMP.PE 3N (Cátac) – túnel Kahuish – Chavín de Huántar – San Marcos – EMP.PE-14A (Succha).

#### **1.4.2. HIPÓTESIS ESPECIFICAS**

- 1) El relave minero de Ticapampa tiene propiedades que ayudan a la estabilización de suelos de subrasante en la carretera EMP.PE 3N (Cátac) – túnel Kahuish – Chavín de Huántar – San Marcos – EMP.PE-14A (Succha).

- 2) Las propiedades del suelo de subrasante de la carretera EMP.PE 3N (Catac) – túnel Kahuish – Chavín de Huántar – San Marcos – EMP.PE-14A (Succha) cumplen con los requisitos para su uso en pavimentos.
- 3) Con la adición del relave minero de Ticapampa se mejoran las propiedades del suelo de subrasante de la carretera EMP.PE 3N (Catac) – túnel Kahuish – Chavín de Huántar – San Marcos – EMP.PE-14A (Succha)

### 1.4.3. VARIABLES

Las variables de esta investigación son:

- 1) Relave minero.
- 2) Estabilización del suelo de subrasante.

### 1.5. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS.

Se definen las variables e indicadores del proyecto:

#### **RELAVE MINERO:**

- 1) **Relave minero:** Desecho mineral sólido de tamaño entre arena y limo provenientes del proceso de concentración minera que son producidos, transportados o depositados en forma de lodo. DGAAM. (2009).

Son residuos sólidos sin valor comercial que se desechan de los procesos metalúrgicos de beneficio de minerales, y los cuáles son almacenados en las llamadas relaveras; cuyos diseños de construcción, operación y mantenimiento deben ser desarrollados de acuerdo a normas establecidas para evitar el impacto en el deterioro del medio ambiente. Si se cumple lo establecido, la presa de relaves debe de garantizar su estabilidad estática, pseudo estáticas y potencial de licuefacción. (Medina & Montano, 2014).

- 2) **Pasivo Ambiental minero:** La denominación pasivo ambiental minero hace referencia a los impactos ambientales generados por las operaciones mineras abandonadas con o sin dueño u operador identificables y en donde no se hayan realizado un cierre de minas reglamentado y certificado por autoridad correspondiente. (Yupari, 2004).
- 3) **Metales pesados:** Son pequeños elementos químicos que presentan una densidad superior a 5g/cm<sup>3</sup>, una masa atómica mayor a la del sodio de 22,99 g/mol y numero atómico superior a 20. (Duffus, 2002).

- 4) **Análisis Químico:** Son los diferentes ensayos que se realizan al relave con la finalidad de obtener la mineralogía del relave (cantidad porcentual de metales).
- 5) **ARD (Acid Rock Drainage):** También denominado drenaje ácido de mina, es la generación de ácido y metales acompañantes en solución debido a la oxidación de los minerales sulfurados que pueden estar contenidos en los relaves, desmontes de rocas, y las superficies expuestas en minas. (DGAAM 2009).
- 6) **Encapsulamiento:** Conocidos también como fijación química, es un proceso a través del cual se inmoviliza e insolubiliza a los metales pesados, este efecto se logra a través de una reacción química entre los componentes de los metales pesados en la matriz del relave, los sistemas más comunes de solidificación involucran a los aglomerantes o cemento. (Romero y Flores 2010).
- 7) **Microencapsulación con sílice:** Es un proceso de tratamiento para metales pesados y contaminantes orgánicos, que trata en forma efectiva efluentes, aguas y otros líquidos y también residuos sólidos, suelos, sedimentos y relaves contaminados. Convierte los metales pesados a una forma inerte segura mediante recubrimiento con sílice y es particularmente efectivo para arsénico, cadmio, mercurio, cobre, plomo, zinc y cromo. (Romero y Flores 2010).

#### **ESTABILIZACIÓN DE SUELOS DE LA SUBRASANTE:**

La subrasante es la superficie terminada de la carretera a nivel de movimiento de tierras (corte y relleno), sobre la cual se coloca la estructura del pavimento o afirmado. Está conformada por suelos seleccionados de características aceptables. (MTC 2014).

Para definir las dimensiones del proyecto nos remitiremos a lo que indica el Manual de Ensayo de Materiales. (MTC 2016).

- 1) **Granulometría:** Representa la distribución de los tamaños que posee el agregado mediante el tamizado según especificaciones técnicas, a partir de la cual se puede estimar, con mayor o menor aproximación, las demás propiedades que pudieran interesar.

El análisis granulométrico de un suelo tiene por finalidad determinar la proporción de sus diferentes elementos constituyentes, clasificados en función de su tamaño. (MTC E 107).

- 2) **Humedad:** La humedad o contenido de humedad de un suelo es la relación, expresada como porcentaje, del peso de agua en una masa de suelo, al peso de las partículas sólidas. Puesto que la resistencia de los suelos de subrasante, en especial de los finos, se encuentra directamente asociada con las condiciones de humedad y densidad que estos suelos presenten. (MTC E 108).
- 3) **Limite Líquido:** Es el contenido de humedad, expresado en porcentaje, para el cual el suelo se halla en el límite ente los estados líquido y plástico. Es el contenido de humedad al cual el surco separador de dos mitades de una pasta de suelo se cierra a lo largo de su fondo en una distancia de 13 mm (1/2 pulg) cuando se deja caer la copa 25 veces desde una altura de 1 cm a razón de dos caídas por segundo. (MTC E 110).
- 4) **Limite Plástico:** Es la facilidad del material a remodelarse sin cambio de volumen y teniendo un mínimo de resistencia al corte. Intervienen factores como la humedad y el peso volumétrico. Para poder determinar la plasticidad se realiza pruebas al material que pasa la malla número 40. Las pruebas más comunes son: los límites de Atterberg y la de contracción lineal. (MTC E 111).
- 5) **Proctor Modificado:** Es la relación entre el contenido de agua y peso unitario seco de los suelos (curva de compactación) compactados en un molde de 101,6 o 152,4 mm (4 o 6 pulg) de diámetro con un pisón de 44,5 N (10 lbf) que cae de una altura de 457 mm (18 pulg), produciendo una Energía de Compactación de (2700 kN-m/m<sup>3</sup> (56000 pie-lbf/pie)). (MTC E 115).
- 6) **Ensayo cbr:** Es el valor soporte o resistencia del suelo, que estará referido al 95% de la MDS (Máxima Densidad Seca) y a una penetración de carga de 2.54 mm. (MTC E 132).

## **1.6. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.6.1. GENERAL**

Determinar la estabilización de suelos de subrasante usando el relave minero de Ticapampa en la carretera EMP.PE 3N (Catac) – túnel Kahuish – Chavín de Huántar – San Marcos – EMP.PE-14A (Succha).

### **1.6.2. ESPECÍFICOS**

- 1) Determinar las propiedades del relave minero de Ticapampa para su uso en la estabilización de suelos de subrasante en la carretera EMP.PE 3N (Catac) – túnel Kahuish – Chavín de Huántar – San Marcos – EMP.PE-14A (Succha).
- 2) Determinar las propiedades del suelo de subrasante de la carretera EMP.PE 3N (Catac) – túnel Kahuish – Chavín de Huántar – San Marcos – EMP.PE-14A (Succha) para su estabilización con el uso del relave minero de Ticapampa.
- 3) Determinar las propiedades del suelo de subrasante de la carretera EMP.PE 3N (Catac) – túnel Kahuish – Chavín de Huántar – San Marcos – EMP.PE-14A (Succha) estabilizada con el relave minero de Ticapampa.

## **1.7. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN**

Existen escasas investigaciones acerca del uso del relave minero como estabilizador de subrasante de suelo, dichas investigaciones son escasas porque el relave minero varía dependiendo del mineral explotado y los posibles usos que se dan son diversos. A continuación, se presentan investigaciones relacionadas con el tema:

Romero, et al. (2007), señalan que:

En el Perú se viene trabajando en materia de residuos sólidos mineros del proceso de flotación de minerales desde el año 2000, donde el ministerio de energía y minas comienza a realizar el inventario de los pasivos ambientales mineros relacionados con las labores mineras abandonadas donde se involucra a las aguas ácidas, botaderos, bocaminas y relaves mineros, respectivamente. En la cuenca del río Santa se ha realizado el inventario de 153 pasivos ambientales mineros, llegando a la conclusión de la urgencia de realizar estudios de investigación para controlar la alarmante contaminación del medio físico en esta cuenca. El proyecto tiene como objetivo establecer los parámetros técnicos preliminares a nivel piloto

en relación a la caracterización granulométrica y mineralógica del relave minero de Ticapampa recomendando utilizar como material primario y agregado en la construcción de pavimentos y el diseño de bloquetas. El diseño de la toma de muestras en la zona donde se encuentra el relave minero, se procedió en el mismo lugar, teniendo en cuenta que el depósito de relave tiene una extensión aproximada de 950 m x 120 m con una altura de 20 m, haciendo un total de 2280000 m<sup>3</sup>. Por la extensión del relave a muestrear se consideró una malla imaginaria de 50 x 10 m. logrando sacar muestras representativas de los rectángulos imaginarios en una cantidad de 40 kilos, el mismo que se trasladó a la ciudad de Lima, para su respectivo estudio. Se procedió a la elaboración de varias probetas a partir de las muestras representativas del relave que se trasladó. Se preparó una muestra de la probeta con 100g de relave, 16g de cemento y 30mm de agua, el mismo que se ha enviado al laboratorio de microscopía electrónica de la Escuela de Geología, de la Universidad de San Marcos. Dónde se concluyó que: Si bien es cierto que por medio de alternativas técnicas de punta se puede fijar los metales pesados como el Pb y Fe, es necesario más ensayos, tanto para estos mismos metales como para el cobre y cromo así como para el zinc, esto permitirá poder establecer las condiciones ideales físicas, químicas, mecánica de activación y mineralógica de cada uno de ellos, para la estabilización (%), fijación y encapsulamiento de metales pesados como hidróxido y silicato por hidratación para lo cual recomendamos realizar posteriores estudios y continuar en esta línea de investigación.

Romero, et al (2008), señalan que:

Este estudio hace referencia a la determinación y caracterización de los metales pesados presentes en la relavera de Ticapampa, la cual es un residuo sólido minero, resultado de operaciones de tratamiento de beneficio metalúrgico por flotación, que constituye un importante pasivo ambiental, que se encuentra alterando produciendo impacto negativo, debido a la contaminación del medio natural de la cuenca del río Santa. Es en ese sentido, se realizó un análisis geoquímico de 14 puntos de muestreo, destacándose, principalmente, tres puntos de muestreo (P190, P192, P197), los cuales, según análisis geoquímico, son los más críticos, puesto que contienen mayor presencia y contenido de metales pesados. Por la extensión del relave a muestrear se consideró una malla imaginaria



de 50 x 10 m, logrando sacar muestras representativas de los rectángulos imaginarios en una cantidad de 40 kilos, el mismo que se trasladó a la ciudad de Lima, para su respectivo estudio. Luego del estudio de la muestra de relave se llegó a las conclusiones, que de acuerdo a los elementos encontrados en el análisis geoquímico del relave de Ticapampa, se puede deducir que la mineralogía trabajada en la zona corresponde a yacimientos polimetálicos de Cu-PbZn, asociados con Au-Ag, formado dentro de un medio volcánico epitermal de baja temperatura. Los elementos Hg y Sb son elementos volátiles. La asociación mineralógica del relave con el silicio (superior a 80%), permitirá la encapsulación de los metales pesados, de este modo se remedia el relave, puesto que esta encapsulación natural determinará la mitigación de la generación de aguas ácidas que contaminen la cuenca del río Santa.

Romero, A; Flores, S. (2011), señalan que:

El presente artículo hace referencia al estudio de los parámetros técnicos del relave de Ticapampa y su aplicación para el relleno en pasta. Para este caso, se ha considerado como un caso típico a la relavera de Ticapampa, por ser una de las más representativas e importante, así como su compleja composición. Como se sabe, la pasta es una mezcla de agua con sólidos de alta densidad que contiene abundante partícula fina con un bajo contenido de agua, controlado con el cono de Abrahams.

El propósito principal del estudio se fundamenta en el establecimiento de los parámetros técnicos de las propiedades de la pasta de relleno que se va a obtener a partir del relave para ser utilizado como material de relleno hidráulico en las labores de la minería subterránea, como son las galerías principales, las chimeneas y tarrajeos, así como otras que requieren sostenimiento y protección al medio geológico circundante de los futuros hundimientos y fallas causadas por estas labores mineras.

La toma de muestras en la zona de Ticapampa, que es el lugar donde se encuentra el relave minero, se ha procedió en el mismo lugar, teniendo en cuenta que el depósito tiene una extensión aproximada de 950 m x 120 m con una altura de 20 m, haciendo un total de 2280000 m<sup>3</sup> de volumen por la extensión del relave a muestrear se consideró sacar muestras representativas en una cantidad de 40 kilos, el mismo que se trasladó a la ciudad de Lima, para su respectivo estudio. El estudio

involucra que las muestras de relave fueran sometidas a remolienda, para obtener tamaño adecuado, luego someterlos a pruebas de análisis granulométrico considerando una serie de mallas, principalmente, las mallas -200 y -325, con la finalidad de obtener una pulpa adecuada de relave, y posteriormente, se sometió a pruebas de homogenización con un equipo agitador con una velocidad de 300 rpm, velocidad suficiente para promover la homogenización de la pulpa de relave. Posteriormente se sometió la pulpa a las pruebas de Slump y la velocidad de percolación. Luego de los ensayos realizados se obtuvo un Slump de 5/8" de altura, lo cual nos indica que estamos dentro del rango óptimo, este resultado se ha conseguido agregándole un aglomerante que es la cal, la velocidad de percolación es de 3.4 cm/hora, lo que equivale a 1.34 pulgadas/hora. Esto se mejora si se aumenta más aglomerante. Llegando a las conclusiones se tendrá óptimas propiedades del relave para ser usado como relleno de pasta si se determina tener el valor de slump y la velocidad de percolación, en los rangos óptimos requeridos para la elaboración de pasta de relave.

Anicama, (2010) señala:

En el actual contexto "ecológico" de la minería moderna, uno de los principales problemas que tiene la industria es el almacenaje de los subproductos del procesamiento de los minerales, "relaves". Son un subproducto de la fundición de la mena para purificar los metales, los relaves mineros no son tan utilizados y se desconocen sus posibles aplicaciones. Una de las alternativas para realizar este reciclaje del relave, consiste en incorporarlo en la construcción de estructuras que resistan los efectos ambientales e intemperismo, como por ejemplo losas, muros de contención, cimientos, presas, etc. siendo el material ideal para este propósito el concreto. Tomando en cuenta lo anterior, el presente estudio propone incorporar relave minero en mezclas de concreto, con objetivos específicos de reciclar relave minero y encontrarle usos sostenibles en las poblaciones cercanas a las operaciones mineras. La incorporación de relave puede hacerse como relleno volumétrico o como adicionado puzolánico. Los ensayos realizados en el presente estudio contemplan ensayos a los materiales involucrados (agregados, cemento, relaves), ensayos al concreto en estado fresco y ensayos al concreto en estado endurecido. Siendo los principales y más importantes los ensayos de resistencia a la compresión (ASTM C39 C39M), tracción por compresión diametral (ASTM

C496 C496M) y abrasión (ASTM C944 C44M). la investigación nos lleva a descartar el uso del relave minero como relleno volumétrico, debido a que siendo este material tan fino (M.F. alrededor de 0.60) tendríamos que usar mayor cantidad de aditivo para conseguir una mezcla trabajable, además dicho material también presenta mucha cantidad de sulfatos en su composición (alrededor de 1000 ppm.) que podrían degenerar en problemas potenciales de durabilidad para el concreto. Se podría concebir usar relave minero en cantidades grandes para aplicaciones temporales. La metodología para el uso del relave como adicionado puzolánico consistió en preparar mezclas de concreto con diferentes porcentajes de reemplazo de cemento por relave (se han propuesto reemplazos del orden del 10%, 15% y para algunos casos reemplazos de 20% y 25%). Se evaluó la resistencia a compresión a 3, 7 y 28 días; y para los ensayos de tracción por compresión diametral y abrasión se evaluaron sólo a 28 días de edad. En base a los resultados obtenidos se propone usar concretos con relave incorporado para construir losas con poco tránsito y veredas. Se propone también investigar la aplicabilidad de los relaves mineros como morteros para asentado de muros de albañilería, bloques de concreto vibrado, cimientos corridos, falsas zapatas, shotcrete y presas de concreto rolado; para intentar así tener un abanico más amplio de aplicaciones de estos materiales.

Ramos y Torres (2014) señalan:

La estabilización de la carretera de tercer orden a nivel de base Tramo: Ccochaccasa – Tablapampa, consistió en una dosificación en peso de 25% de relave minero y el 75% de material de cantera, de acuerdo a los ensayos de CBR realizados en el Laboratorio de Mecánica de Suelos, donde se obtuvo una proporción adecuada de relave minero y material de cantera. La función del relave minero es aglutinar el material de cantera y convertirlo en una masa endurecida de carácter estable. El resultado de este proceso es la disminución de la porosidad y el aumento de su CBR y otras propiedades físicas. El relave minero empleado fue de la Mina Acchilla, por sus propiedades químicas altero con impactos mínimos al medio ambiente, estando apto para su aplicación de acuerdo al estudio de impacto ambiental realizado.

La carretera de tercer orden Tramo: Ccochaccasa -Tablapampa, tendrá una capa base estabilizada de espesor calculado de 25 cm. Y este se podrá coronar como una capa de rodadura para el tránsito ligero o medio.

Aunque las razones del éxito obtenido son varias, se deben a la utilización del material de cantera del lugar y el bajo costo de la aplicación del relave minero como agente estabilizante en carreteras de tercer orden a nivel de base. En lo que se acaba de exponer, ha quedado resumido brevemente las características salientes de las mejoras al aplicar relave minero como agente estabilizante en carreteras de tercer orden a nivel de base.

## **CAPITULO II**

### **GENERALIDADES DE LOS RELAVES MINEROS**

#### **2.1. RELAVES MINEROS**

Los relaves son los residuos sólidos sin valor comercial que se desecha de los procesos metalúrgicos de beneficio de minerales, y los cuales son almacenados en las llamadas relaveras; cuyos diseños de construcción, operación y mantenimiento deben ser desarrollados de acuerdo a normas establecidas para evitar el impacto en el deterioro del medio ambiente. Si se cumple lo establecido, la presa de relaves debe garantizar su estabilidad estática, pseudo estáticas y potencial de licuefacción. (DGAAM 2009). Toda planta de concentración de minerales, produce o genera un volumen de relaves que por lo general es, dos terceras partes superior al volumen original de mineral extraído de las galerías mineras o de las superficiales, por lo que para el tratamiento de este relave y su posterior disposición se debe contar con un área suficientemente grande para su almacenamiento. Estos relaves que son en definitiva solidos finos con escaso contenido de mineral valioso, se desechan mezclados con una determinada densidad de pulpa. Uno de los inconvenientes que hace que el manejo de relaves sea difícil, es que los asientos mineros están ubicados en geografías de difícil acceso, por lo que no es fácil encontrar un área apropiada para almacenar grandes volúmenes de este relave, usándose en la mayoría de los casos depresiones naturales. (Rojas, 2007).

### **2.1.1. TIPOS Y CARACTERÍSTICAS DE LOS RELAVES**

Rojas Villanueva (2007). Afirma que los relaves son generalmente los desechos provenientes del tratamiento metalúrgico que se da a los minerales con contenido metálico, y estos pueden ser con contenido de metales preciosos como Au, Ag, y metales básicos como Cu, Pb, Zn entre otros, ya que son estos lo que predominan en el sector minero nacional.

Los relaves generalmente son producto de:

- Flotación
- Cianuración
- Carbón de pulpa
- Desmonte de mina
- Residuos de pilas de lixiviación
- Escorias
- Lavaderos de oro

Los tipos de relaves cubren una variedad ancha de características físicas de manera que su generalización es difícil. Dicha situación se complica si se considera que los relaves de cualquier tipo de mineral pueden diferir sustancialmente, de acuerdo con el proceso de la planta y la naturaleza de la roca mineralizada.

Existe un problema químico que afecta a los depósitos de relaves de la minería poli metálica, la oxidación de sulfuros, especialmente la pirita cuando estas están presentes en la roca mineralizada. La pirita se oxida con presencia de oxígeno libre, produciendo condiciones de acidez, el mecanismo básico de esta reacción es la combinación de metal sulfuroso con agua y oxígeno para producir un hidróxido de metal y ácido sulfúrico. Como consecuencia de que los relaves en cualquier categoría comparten las mismas características físicas, los problemas de disposición son algo similares.

Adicionalmente los cambios en la molienda en una particular planta pueden por ejemplo producir considerablemente material más fino, lo cual puede cambiar la categoría en el cual los relaves están clasificados.

**Tabla 1. Características físicas de relaves.**

CATEGORÍA	CARACTERÍSTICA GENERAL
I Relave de roca blanca -. Desecho de carbón fino -. Potasa	Contiene fracciones de arena y lama, pero las lamas pueden dominar todas las propiedades por la presencia de arcilla.
II Relave de roca dura -. Plomo -. Cobre -. Oro y Plata -. Molibdeno -. Níquel	Pueden contener fracciones de arena y lama; pero las lamas son usualmente de baja plasticidad. Las arenas usualmente controlan las propiedades totales para propósitos de ingeniería.
III Relaves finos -. Arcillas fosfáticas -. Limos rojos de bauxita -. Taconita fina -. Lamas de arena	La fracción de arena es pequeña o nula. La respuesta del material, particularmente las características de sedimentación-consolidación son dominadas por las partículas de tamaño de limo o arcilla y pueden dar problemas de volumen de disposición.
IV Relaves gruesos -. Arenas alquitranosas -. Relaves de uranio -. Relaves de taconita -. Arenas fosfatadas	Contienen principalmente partículas de arenas o tamaños de limos no plásticos, exhibiendo comportamientos como la arena y generalmente características favorables de ingeniería.

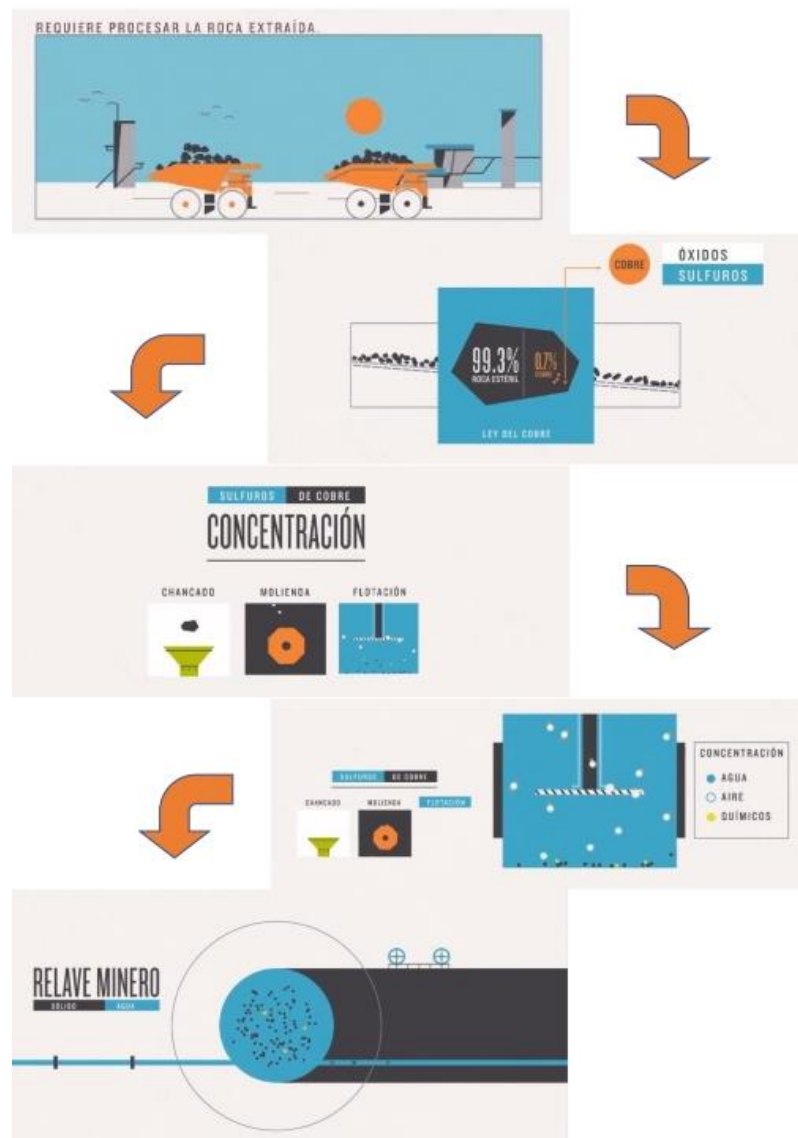
*Fuente: Rojas (2007).*

### **2.1.2. PROCESOS DE RELAVE MINERO**

La estación de minerales es un proceso complejo y desafiante, requiere procesar la roca mineralizada que se extrae de la mina. Esta roca puede tener un bajo contenido del mineral a explotar, cual puede estar presente en forma de óxidos o sulfuros.

Existen varios métodos para procesar los minerales, por ejemplo, para el procesamiento del sulfuro de cobre se usa la **concentración** que consiste en moler la roca y extraer de esta el cobre para lo que se usa agua, aire y sustancias químicas. El restante de roca molida mezclado con los elementos anteriores se conoce como relave minero. Los relaves mineros son depositados dentro de unos sitios seleccionados específicamente para mantener la estabilidad física y química en el tiempo. Estos depósitos deben de cumplir una estricta regulación en toda su fase.

Incluyendo requerimientos geográficos, sociales, ambientales, económicos y de seguridad, así como procesos de evaluación ambiental y sectorial.



**Figura 1. Procesamiento del relave minero.**

*Fuente: Consejo Minero (2017).*

### 2.1.3. TRANSPORTE DE RELAVES

Rojas Atilio (2007) señala que los relaves provienen del circuito de flotación, la mitad de estos pasan a la planta de relleno hidráulico y la otra directamente a la cancha de relaves en forma de pulpa ya que son resultados o producto de las operaciones que se llevan a cabo en la planta concentradora. Estos relaves colectados son transportados en forma de pulpa hacia el almacenamiento de los relaves; esta práctica resulta más de conveniencia que de diseño, dado que los relaves en la planta ya están mezclados con agua.



Los relaves son transportados a la Planta de Relleno Hidráulico o a su disposición final por tuberías con bombeo o sin bombeo dependiendo de las alturas de la planta versus el depósito final, así como la longitud de la tubería que transporta esta y las pérdidas por fricción.

Consideraciones que se deben de tener en cuenta:

- Una de las características básicas de los relaves es su densidad que varía de 1350 gr/l, a 1720 gr/l, siendo en ambos casos altamente abrasivos.
- Los relaves deben tener una velocidad mínima de flujo por debajo de la cual los sólidos se sedimentan, evitando estos efectos ya que estos producen atoros que tienen consecuencias negativas en la operación misma.
- Las velocidades altas, ocasionan desgastes muy rápidos de las tuberías y canaletas por su carácter abrasivo.
- En la actualidad se usan las tuberías HDPE que son de polietileno de alta densidad, son flexibles, resistentes a la abrasión y mejoran la operación en el manejo de relaves.

#### **2.1.4. PUNTOS DE DESCARGA EN CANCHA DE RELAVES**

Según Rojas Atilio (2007) existen dos maneras de descargas:

- Un solo punto, cuando se realiza la descarga simple.
- Varios puntos, se da por ciclones, descargas múltiples y estos ciclones están ubicados cada 50 a 150 m., donde estos ciclones trabajan con unas válvulas pinch que se encargan de distribuir y controlar las descargas.

Ambas maneras de descarga son flexibles, ya que el punto de descarga principal es de fácil reubicación en diversas áreas de la disposición, esto permite el manejo de la pulpa teniendo el control del nivel y ubicación del mismo dentro de la presa de relaves, ya que se puede estabilizar donde se cree más conveniente.

Al momento de la descarga, gran parte de las partículas gruesas, se sedimentan cerca al punto de descarga, y parte de los gruesos y finos se trasladan hasta la zona del estanque de decantación donde se sedimentan, el agua decantada si es posible en algunos casos se bombea a la planta concentradora reutilizando está en los procesos posteriores.

La descarga puede ser en forma directa, al menos anteriormente era así, o puede darse a través de grifos o por un ciclón que va colocado al final de la tubería de conducción.

## **2.2. PROBLEMÁTICA DE LOS RESIDUOS MINEROS EN EL PERÚ.**

### **2.2.1. DESARROLLO HISTÓRICO DE LA TECNOLOGÍA DE RELAVES**

La evolución del manejo de relaves a nivel mundial, nos proporciona antecedentes útiles para comprender la tecnología actual.

La historia documentada de la minería en el Perú data de la conquista por Pizarro en 1535, por aquel entonces, el oro era extraído por reducción directa (fundición) de minerales excepcionalmente ricos, pero principalmente por amalgamación con mercurio. La amalgamación de los minerales de oro como son descritos por agrícolas en 1556, se empleaba molinos de mineral impulsados por caballos para moles el mineral en un patio circular, en algunos casos los molinos primitivos eran propulsados con energía hídrica producida de caídas de agua. (Graza y Quispe, 2015).

Las prácticas de chancado similares fueron adoptadas para los minerales básicos y esto parece haber cambiado muy poco hasta mediados de 1800 cuando la introducción del vapor incremento la capacidad de los molinos de caída libre y por lo tanto la producción de desechos. En el año de 1890 se desarrolló el proceso de flotación, la cual permitió la producción de cantidades aún mayores de relaves con contenido de arena muy fina y partículas sumamente pequeñas (lamas). Sin embargo, las prácticas de disposición permanecieron por mucho tiempo sin sufrir cambios, ocasionando que los relaves fueran depositados sobre mayores distancias de arroyos y lagos. En muchas partes del mundo empezaron a florecer distritos mineros remotos, generando el desarrollo agrícola como complemento. Esto creó conflictos sobre el uso del agua y su disponibilidad ya que los relaves acumulados comenzaron a obstruir canales de irrigación y a contaminar áreas de cultivo aguas abajo. Estos asuntos fueron litigados en muchos distritos de Norte América y Europa entre 1900 – 1930, lo cual en forma gradual determinó el cese de la descarga descontrolada de relaves. (DGAAM, 2009).

Al inicio de la década de los 90 al reconocer que los depósitos de relave minero, a un aquellos que físicamente estables no pueden ser abandonados sin considerar sus efectos a largo plazo que producirán al medio ambiente, la salud y la seguridad. Uno de estos efectos negativos más severos es la generación del conocido “drenaje ácido de roca” ARD (Acid Rock Drainage), es la generación de ácido y metales acompañantes en solución debido a la oxidación de los minerales

sulfurados que pueden estar contenidos en los relaves, desmontes de rocas, y las superficies expuesta en minas.

Las investigaciones sobre métodos para mitigar el ARD en los depósitos de relaves es continuo, pero no hay método singular aplicable y apropiado para todas las condiciones, aun así, ahora se reconoce que la consideración de estos asuntos no puede postergarse hasta la clausura y abandono del depósito, pues las medidas de mitigación entonces necesarias pueden ser incompatibles con las condiciones que existan. En cambio, y de acuerdo a la filosofía que ahora se conoce como “diseño de cierre”, estas medidas deben ser integradas desde las primeras etapas del planeamiento de relaves, con planes específicos y detallados, que cubren la estabilidad física y química desde el inicio de la descarga de relaves durante toda la vida operática de la mina y hasta mucho más allá del cierre de la mina. (Graza y Quispe, 2015).

### **2.2.2. CARACTERÍSTICAS DE LA INDUSTRIA MINERA**

Graza y Quispe (2015) en la tesis Determinación de Pb, Cb, As en aguas del río Santa en el pasivo minero ambiental de Recuay, Ticapampa; Recuay - Ancash, definen las siguientes características de la industria minera:

- Una industria extractiva
- Industria de alto riesgo
- Industria con ciclo de vida marcado por etapas
- Determina localización de la Industria
- Alta relación entre producto y desperdicio
- Industria de alto impacto ecológico

**INDUSTRIA EXTRACTIVA:** son de recursos naturales no renovables, cuando se extraen los recursos minerales estos no se renuevan, por esta razón la minería es una actividad que se maneja con responsabilidad y tecnología para lograr el mayor aprovechamiento las empresas mineras tienen como objetivo conseguir la óptima extracción de las reservas minerales con el mayor beneficio económico y con máxima seguridad de las operaciones.

**ALTO RIESGO:** El desarrollo de una actividad minera tiene dos etapas importantes previas a la explotación, la primera es la búsqueda del recurso mineral que depende de factores técnicos, económicos y de la naturaleza, por esa razón las evaluaciones preliminares muchas veces conducen a evaluar zonas no importantes

como para desarrollar un proyecto minero. Además, el negocio minero no solamente consiste en ubicar un depósito mineral sino llegar a determinar en una segunda etapa que este sea económicamente explotable, esta evaluación es en función de factores como, calidad del mineral, cantidad del mineral, capital disponible, tecnología a emplear, precio de los metales, política tributaria, marco legal.

**CICLO DE VIDA MARCADO POR ETAPAS:** El proceso minero tiene diversas etapas de desarrollo que tendrán un periodo de maduración variable y que depende del capital con el que se cuenta, la magnitud del proyecto, el tipo de mineral, etc. Generalmente la actividad minera es de mediana a larga maduración.

**LOCALIZACIÓN DETERMINADA:** Una de las características importantes de la minería y que la diferencia de las demás actividades económicas, es que se desarrolla en donde se encuentra el recurso mineral. Cualquier otra actividad económica se desarrolla en el lugar donde se escoja ubicarla. Esta característica hace que la minería se convierta en un factor importante de descentralización y generador de puntos de desarrollo al interior del país, muchas de ellas en zonas o poblaciones rurales que no han tenido la oportunidad de lograr tener desarrollo de ningún tipo.

**ALTA RELACIÓN ENTRE PRODUCTO Y DESPERDICIO:** La extracción de recursos minerales implica extraer recursos de la corteza terrestre, los cuales están en contenidos muy bajos, esto implica el desarrollar todo un proceso de separación del mineral y el desperdicio, en los que lógicamente la cantidad de desperdicio es mayor a la cantidad del metal explotado, dando en consecuencia una alta relación entre desperdicio/producto, lo que origina diseñar todo un proceso de disposición de estos materiales no valiosos, dependiendo del proceso seguido en la extracción.

**IMPACTO ECOLÓGICO:** Dada la característica de gran movimiento de materiales en el proceso de extracción de minerales, se genera un impacto entorno a la geografía de la zona, por otro lado, la disposición de dichos materiales y la tecnología empleada muchas veces puede ocasionar un gran impacto en la zona, lo que se controla con planes de monitoreo, evaluación constante y restauración paralela al proceso productivo.

## 2.3. CLASIFICACIÓN DE LA MINERÍA PERUANA

Considerando el marco normativo vigente y la clasificación de Guillermo García Montufar, presentamos los tipos de concesiones mineras según diversos criterios de clasificación.

### 2.3.1. POR LA NATURALEZA DE LAS SUSTANCIAS

En el marco peruano vigente, las concesiones mineras pueden clasificarse como metálicas o no metálicas, no existiendo prioridad o superposición entre estas como sucedía cuando estaba en vigencia el Decreto Legislativo 109.

**Tabla 2. Clasificación de concesiones según la naturaleza de las sustancias.**

TIPOS DE CONCESIÓN	COMENTARIOS
1) <b>Metálicas</b>	Clasificándose a su vez en el ámbito de la industria internacional en metales preciosos (oro, plata y platino) y no preciosos. Se incluyen las sustancias radioactivas.
2) <b>No metálicas</b>	Materiales de construcción, que se encuentra depositados en canteras y álveos o cauces de los ríos, así como sustancias salinas, entre otras.
3) <b>Carboníferas</b>	Pueden ser de distintas variedades (antracita, hulla, lignito y turba).
4) <b>Geotérmicas</b>	Tienen como fin al aprovechamiento de los recursos geotérmicos del suelo y del subsuelo del territorio nacional.
5) <b>Petróleo</b>	En nuestro caso, el petróleo cuenta con un tratamiento particular y distinto al ámbito minero.
6) <b>Piedras preciosas y semipreciosas</b>	Por su naturaleza constituyen minerales no metálicos. No han sido objeto de tratamiento expreso en nuestra legislación minera.

*Fuente: Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (OSINERGMIN).*

### 2.3.2. POR LA FORMA DE LOS YACIMIENTOS

De acuerdo a la forma de los yacimientos, tenemos la siguiente clasificación:

1. Capas o mantos.
2. Ventas o filones.
3. Formaciones irregulares.

Otros clasifican a los yacimientos por su forma:

1. De aluvión, que se encuentran en los lechos aluviales.
2. De veta en rocas.
3. De sedimento en capas.

### 2.3.3. POR SU MÉTODO DE EXPLOTACIÓN

1. De superficie, denominados también a cielo o tajo abierto.
2. Subterráneos o de socavón.

### 2.3.4. POR EL VALOR ECONÓMICO DE LAS SUSTANCIAS

Es variable según la oferta y demanda, así como la importancia industrial de mineral. Se debe tener en cuenta si el mineral evaluado este reservado estratégicamente por el estado dado su interés público o sujeto o libre acceso de particulares.

### 2.3.5. POR LA UBICACIÓN DE MINERALES

1. De suelo.
2. De subsuelo.

### 2.3.6. SEGÚN SU TAMAÑO

La minería peruana se encuentra concentrada en los medianos y grandes productores. Considerando el tamaño de actividad, podemos clasificarla bajo dos criterios: según el tamaño de la concesión (según el número de hectáreas que poseen) y según la capacidad productiva (según el número de toneladas métricas que producen por día).

**Tabla 3. Clasificación de la minería por su tamaño.**

CRITERIO	GRAN MINERÍA	MEDIANA MINERÍA	PEQUEÑA MINERÍA	MINEÍA ARTESANAL
Según el tamaño de la concesión.	No aplica		Mas de 1000 hasta 2000 hectáreas.	Mas 1000 hectáreas.
Según la capacidad productiva	Mas de 5000 toneladas/día	Mas de 350 hasta 5000 toneladas/día.	Mas de 25 hasta 350 toneladas/día.	Hasta 25 toneladas7día.

*Fuente: Dammert y Molinelli (2007).*

1. **Gran minería.** Cuando la actividad se realizó con una capacidad productiva mayor a 5000 TM (según el tamaño de la producción).
2. **Mediana minería.** Cuando la actividad se realiza con una capacidad productiva entre 350 y 5000 TM.
3. **Pequeña minería.** Cuando la actividad se realiza en un terreno menor a 2000 hectáreas y/o con una capacidad productiva entre 25 y 350 TM.

4. **Minería artesanal.** Cuando la actividad se realiza en un terreno menor a 1000 hectáreas y/o con una capacidad productiva menor a 25 TM.

### 2.3.7. POR EL TIPO DE PRODUCCIÓN

Se identifica el volumen de la producción por tipo de mineral que es producido ya sea por la gran, mediana o pequeña minería, tal como se muestra en la siguiente tabla.

**Tabla 4. Distribución de la producción minera por producto y tamaño 2006.**

Producto	Tamaño de actividad						Total, General
	Minería grande y mediana			Minería pequeña y artesanal			
	Grande	Mediana	Total, Grande y mediana	Pequeña	Artesanal	Total, Pequeña y artesanal	
<b>Hierro</b>	100%	-	100%	-	-	-	100%
<b>Estaño</b>	100%	-	100%	-	-	-	100%
<b>Cobre</b>	93.8%	6.1%	99.9%	0.1%	-	0.1%	100%
<b>Zinc</b>	34.2%	64.1%	93.3%	1.7%	-	1.7%	100%
<b>Plata</b>	30.2%	66.6%	96.8%	3.2%	-	3.2%	100%
<b>Plomo</b>	22.2%	73.4%	95.6%	4.4%	-	4.4%	100%
<b>Oro</b>	66.2%	25.6%	91.8%	0.4%	7.8%	8.2%	100%

*Fuente: Dammert y Molinelli (2007).*

### 2.3.8. POR SU LEGALIDAD

1. **Minería Formal:** Son aquellas minas que cuentan con derechos de explotación de las zonas con presencia de minerales y que desarrollan sus operaciones dentro del marco legal.
2. **Minería Informal:** son aquellas minas que no cuentan con derechos de explotación de zonas con presencia de minerales. Gran parte de la minería artesanal desempeña sus actividades bajo esta modalidad (aproximadamente el 60%).

## 2.4. ESTUDIOS DE IMPACTO AMBIENTAL

Se define impacto ambiental como la “modificación del ambiente ocasionada por la acción del hombre o de la naturaleza”. (Presidencia de la República de México, 2018). La evaluación del impacto ambiental (EIA) es uno de los instrumentos de la política ambiental con aplicación específica e incidencia directa en las actividades productivas, que permite plantear opciones de desarrollo que sean compatibles con la preservación

del medio ambiente y la conservación de los recursos naturales. En las dos últimas décadas la EIA ha logrado constituir como una de las herramientas esenciales para prevenir, mitigar y restaurar los daños al ambiente y los recursos renovables del país. Se orienta a los impactos ambientales que eventualmente podrían ser provocados por obras o actividades que se encuentran en etapa de proyecto (impactos potenciales), es decir, que no han sido iniciadas.

La EIA tiene sus bases jurídicas en las disposiciones que al respecto establece la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente y su Reglamento en Materia de Evaluación del Impacto Ambiental.

Así, la EIA está dirigida a efectuar el análisis detallado de los diversos proyectos de desarrollo y del sitio donde se pretenden realizar, con el propósito de identificar y cuantificar los impactos ambientales que pueden ocasionar su ejecución.

## **2.5. RELAVE MINERO DE TICAPAMPA**

El pasivo ambiental minero de Ticapampa (compañía minera Yahuarcocha S.A.) contempla aquellas operaciones mineras que han sido, se encuentran ubicados en el distrito minero de Ticapampa, conocido como Mina Alianza, contiene mineralización polimetálica. Esta se encuentra ubicada dentro de la cordillera Negra y pertenece políticamente a los distritos de Ticapampa y Aija, provincias de Recuay y Aija respectivamente, departamento de Ancash, entre las altitudes 4100 y 4975 msnm.

Romero, A, et al. (2012) en el artículo Estudio de la calidad de agua de la cuenca del río Santa, afirma que, el depósito de relaves “Alianza” se inicia en el año de 1912, con la compañía francesa The Anglo French Silver Mining Co., pasando posteriormente a diferentes compañías mineras, la última de 1967 a 1985, fecha en la que se paralizaron los procesos metalúrgicos de beneficio de minerales. La relavera de la minera Alianza como se menciona tiene una ubicación no adecuada y cuya operación solo fue posible por alimentar los relaves de distintos puntos alternados y camuflar los rebaleses y deslizamientos de bordes por la corriente del caudaloso río Santa, al que muchas veces se vertió relave directamente.

En el transcurso de los años se hicieron varios estudios en este pasivo ambiental, con la finalidad de comprender sus características, el impacto ambiental que está generando y sus posibles usos para su mitigación, estos estudios fueron mencionadas en los antecedentes de esta investigación.



## **CAPITULO III**

### **SUELO DE LA SUBRASANTE**

#### **3.1. GENERALIDADES**

EL Manual de Carretera: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, Sección: Suelos y Pavimentos (2014), define a la subrasante como:

La superficie terminada de la carretera a nivel de movimiento de tierras (corte y relleno), sobre la cual se coloca la estructura del pavimento. Es el asiento directo de la estructura del pavimento y forma parte del prisma de la carretera que se construye entre el terreno natural allanado o explanada del pavimento. La subrasante es la capa superior del terraplén o el fondo de las excavaciones en terreno natural, que soportará la estructura del pavimento, y está conformada por suelos seleccionados de características aceptables y compactados por capas para constituir un cuerpo estable en óptimo estado, de tal manera que no se vea afectada por la carga de diseño que proviene del tránsito. Su capacidad de soporte en condiciones de servicio, junto con el tránsito y las características de los materiales de construcción de la superficie de rodadura, constituyen las variables básicas para el diseño de la estructura del pavimento que se colocara encima.

Según el Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento. (2010).

Estructura compuesta por capas que apoya en toda su superficie sobre el terreno preparado para soportarla durante un lapso denominado periodo de diseño y dentro de un rango de serviciabilidad. Esta definición incluye pistas, estacionamientos, aceras o veredas, pasajes peatonales y ciclovías.

### 3.1.1. CARACTERÍSTICAS DE ACEPTACIÓN DEL SUELO PARA SUBRASANTE

En el país existen dos normas legales que rigen los reglamentos en cuanto a la construcción de pavimentos y las características de sus componentes, cada una de ellas cuenta con características de aceptación para la subrasante.

El Manual de Carretera: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, Sección: Suelos y Pavimentos (2014), aclara:

Los suelos por debajo del nivel superior de la subrasante, en una profundidad no menor de 0.60m, deberán ser suelos adecuados y estables con  $CBR \geq 6\%$ . En caso de que el suelo, debajo del nivel superior de la subrasante tenga un  $CBR < 6\%$  (subrasante pobre o subrasante inadecuada).

El nivel superior de la subrasante debe de quedar encima del nivel de la capa freática como mínimo:

- A 0.60 m cuando se trate de una subrasante excelente – muy buen ( $CBR \geq 20\%$ ).
- A 0.80 m cuando se trate de una subrasante buena - regular ( $6\% = CBR < 20\%$ );
- A 1.00 m cuando se trate de una subrasante insuficiente ( $3\% = CBR < 6\%$ ); y
- A 1.20 m cuando se trate de una subrasante inadecuada ( $CBR < 3\%$ ).

**Tabla 5. Categorías de subrasante.**

Categorías de Subrasante	CBR
S0: Sub rasante Inadecuada	$CBR < 3\%$
S1: Sub rasante Insuficiente	De $CBR \geq 3\%$ a $CBR < 6\%$
S2: Sub rasante Regular	De $CBR \geq 6\%$ a $CBR < 10\%$
S3: Sub rasante Buena	De $CBR \geq 10\%$ a $CBR < 20\%$
S4: Sub rasante Muy Buena	De $CBR \geq 20\%$ a $CBR < 30\%$
S5: Sub rasante Excelente	$CBR \geq 30\%$

*Fuente: Manual de Carreteras: Suelos, Geología y Pavimentos (2014).*

La norma técnica CE.010 Pavimentos Urbanos clasifican a los suelos de la subrasante como:

**Excelente a Bueno.** Los suelos de subrasante Excelentes no se ven afectados por la humedad o por el congelamiento. Ellos influyen arenas o gravas limpias y angulosas, particularmente aquellas que son bien granuladas. Propiedades

típicas: Modulo Resiliente  $\geq 170$  MPa (25000 psi), CBR  $\geq 17\%$ . Los suelos de subrasante buenos retienen una cantidad sustancial de su capacidad de soportar cargas cuando están húmedos. Incluyen las arenas limpias, arenas con gravas y suelos libres de cantidades perjudiciales de materiales plásticos. Propiedades típicas  $80$  Mpa (12000 psi)  $<$  Modulo resiliente  $< 80$  MPa (12000 psi) y  $8\% < \text{CBR} < 17\%$

**Regular.** Los suelos de subrasante son moderadamente estables bajo condiciones adversas de humedad. Incluye suelos como arenas eólicas, arenas limosas y arenas gravosas que contienen cantidades moderadas de arcillas y limos. Propiedades típicas:  $30$  Mpa (4500 psi)  $<$  Modulo Resiliente  $< 80$  MPa (12000 psi) y  $3\% < \text{CBR} < 8\%$ .

**Pobre.** Suelos blandos y plásticos cuando están húmedos. Incluyen suelos con cantidades apreciables de arcillas y limos. Los limos gruesos y arenas eólicas arenosos también pueden mostrar pobres capacidades portantes en áreas donde la penetración por helada dentro de la subrasante es un factor. Propiedades típicas: Modulo Resiliente  $\leq 30$  Mpa (4500 psi), CBR  $\leq 3\%$ .

### **3.1.2. COMPOSICIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL Y LA RED NACIONAL**

Nuestra red vial está clasificada en tres categorías: carreteras nacionales, departamentales y vecinales. Según los últimos reportes del ministerio de transportes y comunicaciones, el Perú tiene una red total de carreteras de 149,659.97 kilómetros. Estas incluyen las carreteras de redes Nacionales (26,494.69 Kilómetros), Departamentales (29,029.62 Kilómetros) y Rurales o Vecinal (94,135.66 Kilómetros).

De ese total solo están pavimentadas un total de 18,698.56 kilómetros, es decir el 12.49%.

**Tabla 6. Carreteras que conforman el clasificador de rutas del SINAC**

RED VIAL (N° Rutas)	EXISTEN POR TIPO DE SUPERFICIE DE RODADURA					TOTAL	
	PAVIMENT.	Afirmada	Sin Afirmar	SUB TOTAL	PROY		
<b>Nacional (130)</b>	14,474.74	7,631.51	2,214.16	24,593.40	1,901.29	<b>26,494.69</b>	<b>17.7%</b>
<b>Departamental (386)</b>	2,339.72	14,263.37	7,632.04	24,235.12	4,794.49	<b>29,029.62</b>	<b>19.4%</b>
<b>Vecinal (6244)</b>	1,611.10	19,231.34	71,001.39	91,843.83	2,291.83	<b>94,135.66</b>	<b>62.9%</b>
<b>TOTAL</b>	18,698.56	41,126.21	80,847.59	140,672.36	8,987.61	<b>149,659.97</b>	<b>100%</b>

*Fuente: Portal del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2012).*

La red nacional comprende las rutas o ejes troncales de importancia nacional, vincula las capitales de departamentos, con sus provincias, sus áreas de producción agropecuaria, puertos, lugares turísticos, etc. Así mismo constituye la base de todo el sistema de carreteras del país, a partir de la cual se articulan las redes viales departamentales y rurales. De este total, el 12.49% se encuentra pavimentada, el 27.47% se encuentra afirmada y el 60.04% comprenden las trochas y vías sin asfaltar.

El Sistema nacional de carreteras (SINAC) es el conjunto de carreteras conformadas de la Red Vial Nacional, Red Vial Departamental y Red Vial Vecinal o Rural.

**Red vial nacional:** está conformada por las grandes rutas que existen en el país y de acuerdo a su ubicación están agrupadas de la siguiente manera:

1. **Carreteras longitudinales:** son los ejes troncales de gran importancia cuya función principal es comunicar a todos los departamentos del país, a partir de esta se articulan las redes viales departamentales y vecinales. Entre estas tenemos a la Carretera Longitudinal de la costa o Panamericana, la Carretera Longitudinal de la Sierra y la Carretera Longitudinal de la Selva.
2. **Carreteras transversales:** son carreteras transversales que se desprenden de las dos vías troncales casi paralelas, la Carretera Longitudinal de la costa o Panamericana y la Carretera Longitudinal de la Sierra. Estas

carreteras casi en su totalidad se unen con la Carretera Longitudinal de la Selva.

**Red vial departamental:** son conformadas por las carreteras existentes en cada departamento, las cuales unen las principales capitales con sus provincias.

**Red vial vecinal o rural:** son conformadas por las carreteras que unen pueblos o caseríos pequeños dentro de las provincias y distritos.

### **3.2. ENSAYOS DE LABORATORIO**

Dentro del análisis que se realizó al suelo de la subrasante con el fin de estabilizarla, los ensayos de laboratorio son los que no brindaron las características iniciales y la información de las propiedades del suelo con la adición del relave minero. La relación de los suelos ante el agente estabilizador (relave minero) se dan a corto plazo, es por ello que mucho de los ensayos de laboratorio convencionales serán utilizados en este análisis.

Cada uno de estos ensayos tienen su respectiva norma técnica peruana con el fin de que el ingeniero tenga una referencia bibliográfica si desea ampliar su campo de investigación.

A continuación, se ha tratado de describir cada ensayo de laboratorio y campo que se realizaran en el desarrollo de la tesis.

#### **3.2.1. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELO POR TAMIZADO (MTC E 107).**

La sección suelos y pavimentos del manual de carreteras 2014, con respecto a la granulometría, menciona que representa la distribución de los tamaños que posee el agregado mediante tamizado según especificaciones técnicas (MTC E 107). A partir de la cual se puede estimar, con mayor o menor aproximación, las demás propiedades que pudieran interesar. El análisis granulométrico de un suelo tiene por finalidad determinar la proporción de sus diferentes elementos constituyentes, clasificados en función de su tamaño.

De acuerdo al tamaño de las partículas de suelo, se definen los siguientes términos:

**Tabla 7. Clasificación de suelos según tamaño de partículas.**

<b>Tipo de Material</b>		<b>Tamaño de las partículas</b>
Grava		75 mm – 4.75 mm
Arena		Arena gruesa: 4.75 mm - 2.00 mm
		Arena media: 2.00 mm – 0.425 mm
		Arena fina: 0.425 mm – 0.075 mm
Material	Limo	0.075 mm – 0.005 mm
Fino	Arcilla	Menor a 0.005 mm

*Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones, (2014).*

Este ensayo permite determinar los porcentajes de piedra, grava, arena, limo y arcilla, denominaciones que se obtienen en función del tamaño.

Se utiliza una serie de tamices con diferentes diámetros que son ensamblados en una columna. En la parte superior, donde se encuentra el tamiz de mayor diámetro, se agrega el material original y la columna de tamices se somete a vibración y movimientos rotatorios intensos con la intención de filtrar el suelo por los tamices. Luego de algunos minutos, se retiran los tamices, tomando por separado los pesos de material retenido en cada uno de ellos.

Los equipos utilizados son:

**Tabla 8. Equipos utilizados ensayo MTC E 107.**

<b>EQUIPO</b>	<b>OBSERVACIONES</b>
<b>Dos balanzas</b>	Una con sensibilidad de 0.01 g para pesar material que pase el tamiz de 2 mm (N° 10). Otra con sensibilidad 0.1 % del peso de la muestra, para pesar los materiales retenidos en el tamiz de 2 mm (N° 10).
<b>Tamices de Malla Cuadrada</b>	Se puede usar, como alternativa, una serie de tamices que, al dibujar la gradación, dé una separación uniforme entre los puntos del gráfico; esta serie estará integrada por los siguientes: 3", 1 1/2", 1", 3/8", N° 4, N° 8, N° 16, N° 30, N° 50, N° 100, N° 200.
<b>Estufa</b>	Capaz de mantener temperaturas uniformes y constantes hasta de 110.5 oc (230.9 °F)
<b>Envases</b>	Adecuados para el manejo y secado de las muestras.
<b>Cepillo y brocha</b>	Para limpiar las mallas de los tamices.

*Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones, (2016).*

El procedimiento y materiales utilizados en este ensayo de laboratorio se encuentran descritos en la Sección N°1 Suelos, MTC E 107 “Análisis granulométrico de suelos por tamizado”, del Manual de Ensayos de Materiales, edición mayo de 2016.

### **3.2.2. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DE UN SUELO (MTC E 108).**

El contenido de humedad de un suelo es la relación del cociente del peso de las partículas sólidas y el uso del agua que guarda, esto se expresa en términos de porcentaje. Es la propiedad del suelo de gran utilidad en la construcción civil y se obtiene de una manera sencilla, pues el comportamiento y la resistencia de los suelos en la construcción están regidos por la cantidad de agua que contienen. El contenido de humedad de una masa de suelo está formado por la suma de agua libre, capilar e higroscópica.

Otra característica importante de los suelos es la humedad natural; puesto que la resistencia de los suelos de la subrasante, en especial de los finos, se encuentra directamente asociada con las condiciones de humedad y densidad que estos suelos presenten. La determinación de la humedad natural permitirá compararla con la humedad óptima que se obtendrá en los ensayos Proctor para obtener el CBR del suelo.

El procedimiento y materiales utilizados en este ensayo de laboratorio se encuentran descritos en la Sección N°1 Suelos, MTC E 108 “Determinación del contenido de humedad de un suelo”, del Manual de Ensayos de Materiales, edición mayo de 2016.

### **3.2.3. DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO DE LOS SUELOS (MTC E 110).**

El límite líquido (L.L) de un suelo es el contenido de humedad expresado en el porcentaje del suelo secado en el horno, cuando este se halla en el límite entre el estado plástico y el estado líquido.

Frontera convencional entre los estados semilíquido y plástico fue llamada estado líquido; Atterberg lo definió en términos de ciertas técnicas de laboratorio que consistió en colocar el suelo remoldeado en una capsula, formando en el suelo una ranura de espesor de dos milímetros en toda la parte profunda, y en cerrar la ranura golpeando secamente la cápsula contra una superficie dura; el suelo tenía el contenido de agua correspondiente al límite líquido cuando los bordes inferiores de la ranura se juntan sin mezclarse al cabo de cierto número de golpes.

El procedimiento y materiales utilizados en este ensayo de laboratorio se encuentran descritos en la Sección N°1 Suelos, MTC E 110 “Determinación del

límite Líquido de los suelos”, del Manual de Ensayos de Materiales, edición mayo de 2016.

### 3.2.4. DETERMINACIÓN DEL LÍMITE PLÁSTICO DE LOS SUELOS E ÍNDICE DE PLASTICIDAD (MTC E 111).

Se llama límite plástico (L.P.) a la humedad más baja con la que pueden formarse barritas de suelo de unos mm (1/8”) de diámetro, para esto, se realiza una mezcla de agua y suelo, la cual se amasa entre los dedos índice y una superficie inerte (vidrio), hasta conseguir el cilindro de 3mm. Al llegar a este diámetro, se desarmará el cilindro, y vuelve a amasarse hasta lograr nuevamente un cilindro de 3 mm. esto se realizará consecutivamente hasta que no es posible obtener el cilindro de la dimensión deseada. Con ese contenido de humedad, el suelo se vuelve quebradizo (por pérdida de humedad). Se mide el contenido de humedad, el cual corresponde al Límite Plástico. Se recomienda realizar este procedimiento al menos 3 veces para disminuir los errores de interpretación o medición.

El índice de plasticidad (**IP**) de un suelo es el tamaño del intervalo de contenido de agua, expresado con un porcentaje de la masa seca del suelo, dentro del cual el material está en un estado plástico. Este índice corresponde a la diferencia numérica entre el límite líquido (**LL**) y el límite plástico (**LP**) del suelo.

$$IP = LL - LP$$

El índice de plasticidad indica la magnitud del intervalo de humedades en el cual el suelo posee consistencia plástica y permite clasificar bastante bien un suelo. Un IP grande corresponde a un suelo muy arcilloso; por el contrario, un IP pequeño es característico de un suelo poco arcilloso. En tal sentido, el suelo en relación a su índice de plasticidad puede clasificarse según lo siguiente.

**Tabla 9. Clasificación de suelos según Índice de Plasticidad.**

Índice de Plasticidad	Plasticidad	Características
IP > 20	Alta	Suelos muy arcillosos
7 < IP ≤ 20	Media	Suelos arcillosos
IP < 7	Baja	Suelos poco arcillosos plasticidad
IP = 0	No Plástico (NP)	Suelos exentos de arcilla

*Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones, (2016).*

El procedimiento y materiales utilizados en este ensayo de laboratorio se encuentran descritos en la Sección N°1 Suelos, MTC E 111 “Determinación del



límite plástico (L.P) de los suelos e índice de plasticidad (I.P)”, del Manual de Ensayos de Materiales, edición mayo de 2016.

### **3.2.5. COMPACTACIÓN DE SUELOS EN LABORATORIO UTILIZANDO ENERGÍA MODIFICADA (MTC E 115).**

La compactación es un método de mejoramiento de suelos que consiste en ejercer una acción mecánica de relativamente corta duración sobre una masa de suelo a un estado parcialmente saturado, para reducir su volumen (disminución de vacíos) y aumentar su densidad.

En la práctica, la compactación se realiza con frecuencia sobre los materiales que se utilizan para relleno en construcción de terraplenes, pero también se puede realizar “in situ” con suelos naturales en proyectos de mejoramiento de terreno.

El principal objetivo de la compactación es mejorar las propiedades ingenieriles del material en todos o en algunos de los siguientes aspectos.

- Aumenta la resistencia al corte
- Disminuir la compresibilidad y por consiguiente reducir los asentamientos
- Disminuir la relación de vacíos
- Reducir el potencial de expansión, contracción o expansión por congelación.

El nombre del ensayo es Compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada (Proctor modificado). Consiste en compactar el suelo dentro de un molde metálico y cilíndrico, en varias capas y por la caída de un martillo (pisón metálico). Existen dos variaciones del método el Proctor estándar (normal) el Proctor modificado.

El Proctor modificado es la prueba de laboratorio usada generalmente para obtener la densidad seca máxima de compactación y el contenido de agua óptimo, es una modificación de la prueba de Proctor estándar, aumentando la energía de compactación (2700 KN-m/m<sup>3</sup>), el número de golpes por capa se eleva a 56 y el número de capas a 5, aumentando el peso del martillo (pisón metálico) a 4-54 kg y la altura de caída del mismo a 18” (45.57 cm), siendo la energía específica de compactación de 27.2 kg cm/cm<sup>3</sup>, resultando la densidad seca máxima obtenida, mayor que la obtenida en el Proctor estándar y menor contenido óptimo de humedad.

El procedimiento y materiales utilizados en este ensayo de laboratorio se encuentran descritos en la Sección N°1 Suelos, MTC E 115 “Compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada (Proctor Modificado)” del Manual de Ensayos de Materiales, edición mayo de 2016.

### **3.2.6. CBR DE SUELOS COMPACTADOS EN LABORATORIO (MTC E 132).**

El ensayo CBR se emplea para evaluar la capacidad portante de terrenos compactados como terraplenes, capas de firme pavimentos, explanadas, así como en la clasificación de suelos.

Las siglas CBR significan Californian Bearing Ratio (relación de soporte California) es una prueba de penetración para comprobar las características mecánicas de un suelo. Fue desarrollado por el Departamento de Transporte de California antes de la Segunda Guerra Mundial.

El CBR se obtiene con un porcentaje del esfuerzo requerido para hacer penetrar un pistón una profundidad de 0.1” en una muestra de suelo y el esfuerzo requerido para hacer penetrar el mismo pistón, la misma profundidad de 0.1”, en una muestra patrón de piedra triturada.

A través de este procedimiento se determina lo que se llama el índice CBR el cual es la relación entre la carga determinada y la que se obtiene por el mismo procedimiento para una muestra tipo de roca machacada.

Según el Manual de Ensayo de Materiales, edición mayo de 2016 la finalidad y alcance de este ensayo es:

- Se usa para evaluar la resistencia potencial de subrasante, subbase y material de base, incluyendo materiales reciclados para usar en pavimentos de vías y de campos de aterrizaje. El valor de CBR obtenido en esta prueba forma una parte integral de varios métodos de diseño de pavimento flexible.
- Para aplicaciones donde el efecto del agua de compactación sobre el CBR es mínimo, tales como materiales no-cohesivos de granos gruesos, o cuando sea permisible para el efecto de diferenciar los contenidos de agua de compactación en el procedimiento de diseño, el CBR puede determinarse al óptimo contenido de agua de un esfuerzo de compactación especificado. El peso unitario seco especificado es normalmente el

mínimo porcentaje de compactación permitido por la especificación de compactación de campo de la entidad usuaria.

- Para aplicaciones donde el efecto del contenido de agua de compactación en el CBR es desconocido o donde se desee explicar su efecto, el CBR se determina para un rango de contenidos de agua, generalmente el rango de contenido de agua permitido para la compactación de campo por la especificación de compactación en campo de la entidad usuaria.
- Este índice se utiliza para evaluar la capacidad de soporte de los suelos de subrasante y de las capas de base, subbase y de afirmado.

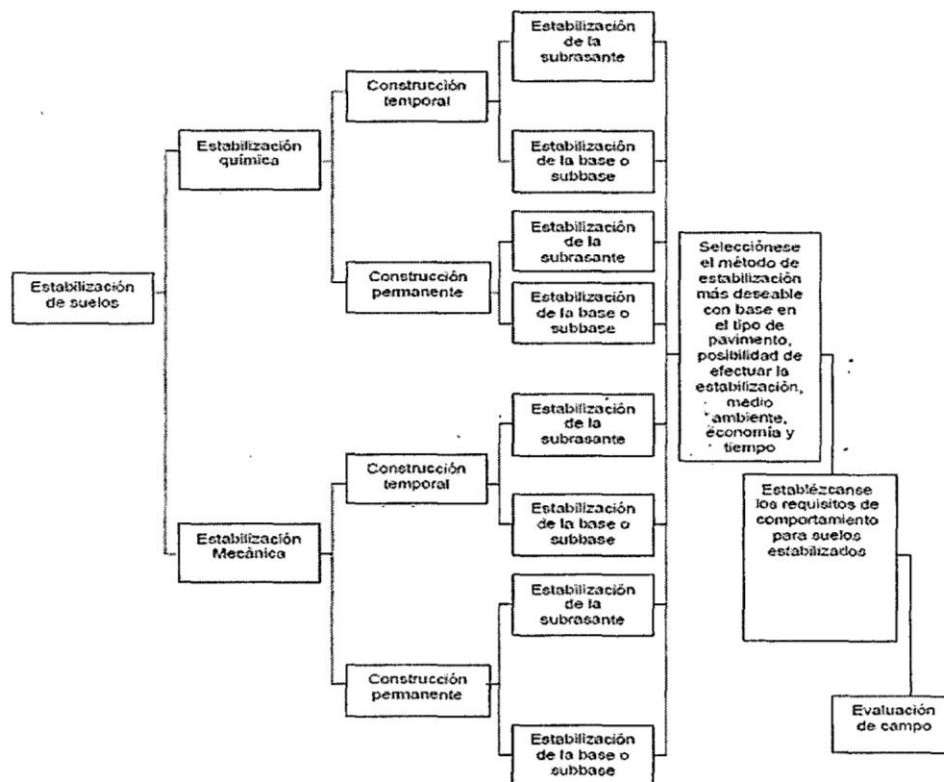
El procedimiento y materiales utilizados en este ensayo de laboratorio se encuentran descritos en la Sección N°1 Suelos, MTC E 132 “CBR de suelos (laboratorio), del Manual de Ensayos de Materiales, edición mayo de 2016.

### **3.3. ESTABILIZACIÓN DE SUELOS.**

La estabilización de suelos se define como el mejoramiento de las propiedades físicas de un suelo a través de procedimientos mecánicos e incorporación de productos químicos, naturales o sintéticos. Tales estabilizaciones, por lo general se realizan en los suelos de sub rasante inadecuado o pobre. Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2014).

Una clasificación propuesta según Winterkorn, H. y Pamukcu, S. (1990):

- Estabilización mecánica, implica el tratamiento y la compactación de los suelos para su densificación.
- Estabilización física, comprende en buscar una buena granulometría usando materiales granulares o cohesivos.
- Estabilización química encierra los cambios que se le dan a las propiedades del suelo mediante el uso de agentes cementantes, ligantes asfálticos.



**Figura 2. Estabilización de suelos según Winterkorn y Pamukcu.**

*Fuente: Ramos y Torres (2014).*

En la construcción de vías de transporte se estabilizan los suelos naturales que no cumplen como suelos de subrasante por su baja resistencia portante o su alta expansión, también se estabilizan para incrementar la resistencia al desgaste y al esfuerzo cortante para resistir las cargas de tránsito bajo cualquier condición climática, sin que se produzcan deformaciones perjudiciales. La importancia de estabilizar suelos con fines de obras viales, es contemplar desde el momento de diseño una adecuada solución y evaluar la rentabilidad de aplicar una metodología de estabilización precisa para el lugar en el que se proyecta la construcción del tipo de vía, ya que por lo general este análisis se complementa durante la etapa de ejecución, generando costos adicionales o modificaciones presupuestales.

### 3.3.1. MÉTODOS DE ESTABILIZACIÓN DE SUELOS

En el transcurso del tiempo el hombre ha venido aplicando diversas metodologías para la estabilización, muchas de estas comenzaron de forma empírica y artesanal como ejemplo se sabe que el imperio romano desarrollo la técnica de la estabilización mezclando arcilla con cal, de este modo realizaron las principales arterías romanas.

Según el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2014), los métodos de estabilización más empleados son:

1. Estabilización por compactación.
2. Estabilización por combinación o sustitución de suelos.
3. Suelos estabilizados con cal.
4. Suelos estabilizados con cemento.
5. Estabilización mediante tratamientos químicos.
6. Estabilización con productos asfálticos.
7. Estabilización con geosintéticos.

Todos estos métodos deben de cumplir las siguientes condiciones:

- a) El material básico que se debe emplear es el suelo, ya sea en su estado natural en el que se encuentra a lo largo del camino, incorporándole otros materiales o acarreándolo totalmente de depósitos cercanos.
- b) Es necesario que se desarrolle suficiente cohesión y fricción interna en los suelos para que puedan resistir satisfactoriamente el tránsito de vehículos.
- c) El suelo debe resistir la acción de los agentes atmosféricos para que pueda conservar sus buenas propiedades durante todo el tiempo.
- d) Debe seleccionarse los materiales y métodos de construcción apropiados para que la obra resulte de bajo costo y con características satisfactorias para resistir el tránsito de vehículos.

### **ESTABILIZACIÓN POR COMPACTACIÓN**

Este método ha sido y sigue siendo uno de los métodos más antiguos de estabilización; el concepto de estabilización por compactación parte de un principio básico de mecánica de suelos, que es el de aumentar la densidad del suelo con un contenido de humedad determinado para obtener una disminución en el porcentaje, reducción de agua por infiltración y aumento de fracción interna; como consecuencia de todos estos cambios, se logra el aumento en las propiedades de resistencia.

Este tipo de estabilización está en función de la energía de compactación. En la actualidad se emplea en los laboratorios geotécnicos la energía propia del ensayo Proctor Modificado con el fin de remodelar las muestras, considerando las condiciones de campo a las que estará sometida.

Como se menciona en el Manual de Carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimento (2014), la estabilización mecánica de suelos se pretende mejorar el material del suelo existente, sin cambiar la estructura y composición básica del mismo. Como herramienta para lograr este tipo de estabilización se utiliza la compactación, con la cual se reduce el volumen de vacíos presentes en el suelo. Se debe de entender que este tipo de estabilización está en función de la energía de compactación, por lo tanto, los cambios de las características obtenidas con este método son a nivel físico, no se modifica la estructura química del suelo.

### **ESTABILIZACIÓN POR COMBINACIÓN O SUSTITUCIÓN DE SUELOS**

La estabilización por combinación de suelos considera la mezcla de materiales del suelo existente con materiales de préstamo. En el momento de la búsqueda de una mezcla de suelos con las propiedades adecuadas, la granulometría suele ser el requisito más importante para la fracción gruesa y la plasticidad para la fracción fina, por ende, el tamaño máximo del agregado es importante pues los valores altos conllevan a tener superficies muy rugosas y con poca cohesión; sin embargo, en los finos, un alto porcentajes de material pasante de la malla N°40 nos arroja un material de baja resistencia y de alta deformabilidad.

El Manual de Carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimento (2014) en el capítulo IX menciona, que se pueden presentar dos casos al proveer la estabilización del suelo de la subrasante solamente con material adicionado. Una de ellas cuando la capa se construya directamente sobre el suelo natural existente o que este debe ser excavado previamente y reemplazado por el material de adición. En el primer caso, el suelo existente se deberá escarificar, conformar y compactar a la densidad especificada para cuerpos de terraplén en una profundidad de quince centímetros. Mientras que, para el segundo caso, el mejoramiento con material totalmente adicionado implica la remoción total del suelo natural existente, de acuerdo al espesor de reemplazo.

### **SUELOS ESTABILIZADOS CON CAL**

El empleo de la cal como agente estabilizante de suelos data de hace muchos siglos, pues existen evidencias que la cultura romana, la cultura hindú y algunos pueblos de china la emplearon. Al pasar de los años se llevaron a cabo una gran

cantidad de estudios científicos respecto al empleo de este en la estabilización de los suelos, obteniendo buenos resultados.

Los suelos arcillosos que presentan alta plasticidad son difíciles de pulverizar, mezclar, compactar y experimentan grandes cambios de volumen con las variaciones en su contenido de humedad. Cuando se mezcla el suelo con la cal, se produce una reacción rápida de floculación e intercambio iónico, seguida de otra muy lenta de tipo puzolánico; estas dos reacciones generan la formación de nuevos productos químicos. La sílice y alúmina de las partículas de suelo se combinan con la cal en presencia de agua para formar silicatos y aluminatos cálcicos insolubles.

Ugaz (2006) afirma, la combinación de la cal con el suelo causa efectos uno de los más importantes, es el de cambiar apreciablemente su plasticidad, también aumenta la humedad óptima de compactación, lo que permite la densificación de suelos de elevada humedad natural. Además de cambiar las propiedades ya indicadas de los suelos, causa en ellos efectos aglutinantes y aumentan su resistencia. Es posible que esto se deba a que el calcio de la cal se combine con la sílice y la alúmina del suelo formando diversos silicatos de calcio y de alúmina las cuales poseen grandes propiedades cementantes, por lo que la magnitud de la resistencia adquirida por el suelo dependerá de la cantidad de sílice y alúmina disponibles en el mismo para combinarse con el calcio.

La National Lime Association resume las propiedades que se obtienen después de una estabilización o mejoramiento con cal, en los siguiente:

1. Reducción del índice de plasticidad, debido a una reducción del límite líquido y a un incremento del índice plástico.
2. Reducción considerable del ligante natural del suelo por aglomeración de partículas.
3. Obtención de un material más trabajable y fiable como producto de la reducción del contenido de agua en los suelos (rotura fácil de grumos).
4. La cal ayuda a secar los suelos húmedos lo que acelera su compactación.
5. Reducción importante del potencial de contracción y del potencial de hinchamiento.
6. Incremento de la resistencia a la compresión simple de la mezcla posterior al tiempo de curado alcanzado en algunos casos hasta un 40% de incremento.

7. Incremento de la capacidad portante del suelo (CBR).
8. Incremento de la resistencia a tracción del suelo.
9. Formación de barreras impermeables que impiden la penetración de aguas de lluvia o el ascenso capilar de aguas subterráneas.

Aunque la proporción de cal que deba emplearse en un determinado suelo depende de las características del mismo, se puede dar como un dato referencial, que para los suelos arcillosos la cantidad de cal varía del 2 al 5% con relación al peso seco del suelo.

Según la sección suelos y pavimentos manual de carreteras 2014 la estabilización con cal tiene excelentes resultados, en los siguientes casos:

- a) Materiales compuestos por mezcla de grava y arcilla para su uso como capa granular superficial con una incorporación de 2 a 4% de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  en peso.
- b) Suelos altamente arcillosos para usarlos como capa granular superficial (5 al 10% de cal en peso) o como capa inferior (1 a 3% de cal en peso).

## **SUELOS ESTABILIZADOS CON CEMENTO**

(Ugaz, 2006). Por lo general los suelos son un conjunto de partículas granulares inertes que cuentan con una cierta plasticidad, la acción que produce el cemento al ser combinado con el suelo es doble. Actúa como conglomerante de las gravas, arenas y limos desempeñando el mismo papel que en el hormigón. Por otra parte, el hidrato de calcio, que se forma al contacto del cemento con el agua, libera iones de calcio que por su gran afinidad con el agua roba algunas de las moléculas de esta interpuestas entre cada dos láminas de arcilla teniendo como resultado de este proceso es la disminución de la porosidad y de la plasticidad, así como un aumento en la resistencia y en la durabilidad.

El Manual de Carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimento (2014) refiere:

El material suelo – cemento se obtiene por la mezcla íntima de un suelo suficientemente disgregado con cemento, agua y otras eventuales adiciones, seguida de una compactación y un curado adecuado. de manera que el material suelto se convierte en otro endurecido, mucho más resistente. En comparación con el concreto los granos sueltos del suelo no están envueltos en pasta de cemento endurecido, si no que están puntualmente unidos entre sí. Por ello, el



suelo-cemento tiene una resistencia inferior y un módulo de elasticidad más bajo que el concreto.

Este tipo de estabilización es de uso cada vez más frecuente y consiste comúnmente en agregar cemento Portland en proporción de un 7% a un 16 % por volumen de mezcla. Al mejorar el material con cemento Portland se piensa principalmente en aumentar su resistencia, pero además de esto, también se disminuye la plasticidad, es muy importante para que se logren estos efectos, que el material por mejorar tenga un porcentaje máximo de materia orgánica del 34%. Casi todos los tipos de suelos pueden estabilizarse con cemento con excepción de los que contienen altos porcentajes de materia orgánica. Por otra parte, los suelos con arcilla o limo requerirán un mayor porcentaje de cemento.

El éxito de una estabilización con cemento portland depende de tres factores: contenido apropiado de cemento, contenido apropiado de humedad y una compactación adecuada. Para determinar el de estos factores, deben efectuarse pruebas de laboratorio siguiendo las recomendaciones pertinentes.

La resistencia del suelo-cemento aumenta con el contenido de cemento y la edad de la mezcla. Al añadir cemento a un suelo y antes de iniciarse el fraguado, su IP disminuye, su LL varía ligeramente y su densidad máxima y humedad-óptima aumentan o disminuyen ligeramente, según el tipo de suelo.

**Tabla 10. Rango de cemento requerido en estabilización de suelos.**

<b>Clasificación de suelos ASSHTO</b>	<b>Rango usual de cemento requerido (porcentaje del peso de los suelos)</b>
A-1-a	3 - 5
A-1-b	5 - 8
A-2	5 - 9
A-3	7 - 11
A-4	7 - 12
A-5	8 - 13
A-6	9 - 15
A-7	10 - 16

*Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2014).*

Con respecto al agua, se necesita la cantidad suficiente para hidratar el cemento, y, además, la necesaria para lograr la adecuada compactación del suelo. Se debe tener en cuenta que cierta parte del agua agregada al suelo se evaporará y

perderá durante el proceso de mezclado, por eso es necesario incorporar al suelo alrededor de un 3% más de agua para obtener el contenido óptimo. Para garantizar eficientemente la cantidad de agua, es la toma de un número suficiente de muestras de suelo a las cuales se les determinara los contenidos de humedad en el momento de su compactación.

### **ESTABILIZACIÓN MEDIANTE TRATAMIENTOS QUÍMICOS.**

Ya que todo tipo de estabilización involucra algún tipo de reacción química, resulta difícil definir este tipo de estabilización. Se describirá el empleo de ciertas sustancias químicas especiales para estabilizar suelos arcillosos. Se debe reconocer que, aunque las estabilizaciones químicas pueden ser eficientes bajo una amplia variedad de condiciones, no existe ningún producto químico ideal que pueda estabilizar todos los tipos de suelos en todas las circunstancias y condiciones climáticas. (Ugaz, 2006).

Un estabilizador químico debe ser tal que en pequeñas cantidades del mismo produzca los efectos deseados, que actúe rápidamente y que su función sea muy poco afectada por la composición del suelo.

#### **Estabilización con Acrilato de Calcio:**

El acrilato de calcio es un polvo blanco muy soluble en agua en la cual puede permanecer estable durante muchos meses a la temperatura de ambiente, pero si se pone en presencia de un catalizador se polimeriza, formando un material insoluble y de consistencia gelatinosa. Este estabilizador es muy útil en el tratamiento de los suelos muy cohesivos. Se requiere aproximadamente de 2% a 4% de estabilizador para obtener mejoras apreciables en el suelo, considerándose que el porcentaje máximo que se debe de emplear es de 10%. La densidad de suelo aumenta con la adición del acrilato y los valores de limite líquido y plástico disminuyen. El proceso para emplear el acrilato consiste en mezclar en seco el acrilato y el catalizador, luego unir esta mezcla con el suelo también en seco. Una vez terminada esta operación, se agrega agua, se termina de mezclar y se compacta.

#### **Estabilización con Cloruro de Sodio:**

El cloruro de sodio, más conocido como la sal es un estabilizante natural, compuesto aproximadamente por 98% de NaCl y un 2% de arcillas y limos.

El Manual de Carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimento (2014) señala:

La propiedad fundamental es absorber la humedad del aire y de los materiales que le rodean, reduciendo el punto de evaporación y mejorando la cohesión del suelo. Su poder coagulante conlleva a un menor esfuerzo mecánico para lograr la densificación deseada, debido al intercambio iónico entre el sodio y los minerales componentes de la matriz fina de los materiales, produciéndose una acción cementante.

La función principal de la sal es el control del polvo en caminos o superficies de rodadura de tránsito ligero. Normalmente la cantidad de sal está comprendida entre 50 y 80 kg/m<sup>3</sup> de suelo a estabilizar. No obstante, la cantidad adecuada de sal depende de los resultados que se obtenga del tramo de prueba.

El mezclado sobre la plataforma de la vía del suelo con sal y con el agua, utilizando el equipo adecuado, permite obtener la mezcla de suelo – sal que satisfaga los requisitos establecidos. La compactación se puede iniciar en cualquier momento luego de perfilada la superficie con el equipo adecuado al tipo de suelo.

#### **Estabilización con Cloruro de Calcio:**

El Manual de Carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimento (2014) señala:

La estabilización con el cloruro de calcio es similar a la sal común, pero es preferible debido al efecto oxidante que tiene el cloruro de sodio, el cloruro de calcio ayuda al proceso de compactación y contribuye con la resistencia del suelo, previene el desmoronamiento de la superficie y es un paliativo del polvo.

Se pueden utilizar de dos formas:

- En granos regulares
- En hojuelas o pelotillas

La dosificación es de 1% - 2% de cloruro de calcio en peso respecto del suelo seco. El mezclado, compactado y terminación son similares a los de estabilización con cloruro de sodio; generalmente se aplica disuelto en agua mediante riego al comienzo de la temporada seca.

#### **Estabilización con Cloruro de Magnesio:**

Cloruro en forma de cristales de color blanco, más efectivo que el cloruro de calcio al incrementar la tensión superficial produciendo una superficie de rodadura más dura. Químicamente el cloruro de magnesio está constituido aproximadamente por un 10.5% de magnesio, un 33.5% de cloro, un 52% de agua y un 4% de impurezas.

Cuenta con las siguientes propiedades para su uso vial:

- Higroscópica: posee la capacidad de absorber humedad del ambiente, incluso en zonas sumamente áridas.
- Ligante: cohesiona las partículas finas, permitiendo consolidar la carpeta de rodado.
- Resistente a la evaporación: posee una baja tensión al vapor, lo que permite que no se pierda la humedad absorbida.
- Baja temperatura de congelación:  $-32.8^{\circ}\text{C}$ .
- Altamente soluble en agua: permite elaborar una solución en forma rápida y sencilla.

### **ESTABILIZACIÓN CON PRODUCTOS ASFÁLTICOS.**

Si se mezcla a un suelo con un producto asfáltico que proporcione suficiente cohesión y fricción interna, o que contribuya a mantener dichas propiedades, entonces se habrá logrado un material estabilizado. Todos los productos asfálticos son pegajosos y cohesivos y por lo tanto pueden ser empleados para proporcionar la cohesión necesaria a los suelos.

El Manual de Carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimento (2014) señala:

La mezcla de un suelo con un producto asfáltico puede tener como finalidad:

- Un aumento de su estabilidad por las características aglomerante de ligante que envuelve las partículas del suelo.
- Una impermeabilización del suelo, haciendo menos sensible a los cambios de humedad y por tanto más estable en condiciones adversas.

Si los productos asfálticos que recubren las partículas de un suelo se encuentran en cantidades excesivas, pueden lubricarse disminuyendo la fricción interna y dando como resultado mezclas esponjosas e inestables. Es por eso que es un requisito esencial el emplear una cantidad adecuada de producto asfáltico.

Otro requisito importante es el efectuar un mezclado uniforme, para evitar que existan zonas débiles por exceso o por falta de producto. Para lograr una mezcla uniforme, el producto debe de pulverizarse de manera que el producto asfáltico pueda distribuirse adecuadamente en todo su volumen y debe revolverse suficientemente para que cubra totalmente al suelo con una película delgada.

La dosificación depende de la granulometría del suelo, suelos finos requieren mayor cantidad de asfalto, así suelos plásticos muy finos no pueden estabilizarse

a un costo razonables debido a la dificultad para pulverizarlos y la cantidad de bitumen exigido.

El proceso de curado en la estabilización con asfalto tiene una gran importancia, depende de muchas variables, como cantidad de asfalto aplicado, humedad y viento, cantidad de lluvias, y la temperatura de ambiente.

### **ESTABILIZACIÓN CON GEOSINTÉTICOS.**

El concepto de mejorar características de suelo a través de la inserción de elementos resistentes a la tracción, no es reciente, existen registros de este método que datan antes de Cristo, cuando eran utilizados materiales vegetales para dar mayor resistencia a los ladrillos de arcilla. Este concepto fue rescatado en la segunda mitad del siglo XX, con la utilización de tiras de acero interactuando con el suelo, en obras de contención, actualmente, más allá de las tiras de acero, son utilizadas para el refuerzo de suelos las mallas de doble torsión, así como varios tipos de geosintéticos.

Los geosintéticos proporcionan resistencia a la tracción y una mejora significativa en el rendimiento y construcción de pavimentos.

Sus aplicaciones van desde estabilización de rellenos sobre suelos blando pasando por el refuerzo de taludes, fundaciones, bases de pavimentos, etc.

Manual de Carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimento (2014):

Debido a experiencia internacional se ha podido diversificar funcionalmente los geosintéticos; así tenemos, la función de drenaje y anticontaminante es la misión específica de los geotextiles; la función específica de armado o refuerzo del terreno, está en el ámbito de las geomallas; la función de impermeabilización o protección está en el campo de las geomembranas.

Las funciones de separación y filtro de los geotextiles y la función de refuerzo de las geomallas, se pueden combinar para proporcionar una estabilización mecánica de los suelos de sub rasante inadecuada.

Según el documento ETL1110-1-189 del cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos:

Se han identificado tres mecanismos de refuerzo de geomallas en el refuerzo de suelos y pavimentos: confinamiento lateral de las partículas, mejoramiento de la capacidad portante del terreno natural y el efecto de membrana tensionada.

**Confinamiento lateral:**

Se logra a través de la trabazón de las partículas granulares con el refuerzo. Las geomallas aumentan el módulo de la capa reforzada al confinar las partículas e impedir su movimiento natural ante la aplicación de las cargas vehiculares. La trabazón mecánica aumenta la rigidez de la base reduciendo las deformaciones verticales en la interfase interior y los ahuellamientos en la superficie de rodadura.

**Mejoramiento de la capacidad portante del terreno natural**

La rigidez de la geomalla permite distribuir las cargas aplicadas en una mayor área disminuyendo los esfuerzos cortantes y verticales en el terreno natural blando. Básicamente se traslada el plano de falla de la estructura del pavimento de un material no competente (blando) a materiales de mejor comportamiento como la base/subbase.

## CAPITULO IV

### METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

#### 4.1. PERSPECTIVA METODOLOGÍA Y TIPO DE INVESTIGACIÓN

##### 4.1.1. PERSPECTIVA METODOLÓGICA

La perspectiva metodológica que se adoptó en la investigación:

- **El método usado es el deductivo**, pues se partió de la idea general de estabilización de suelos, a investigar el caso particular de la estabilización de suelos con relave minero.
- **La orientación de la investigación es aplicada**, porque se busca aumentar el grado de conocimiento sobre el uso del relave minero de Ticapampa como estabilizador del suelo de subrasante de la carretera EMP.PE 3N (Catac) – túnel Kahuish – Chavín de Huántar – San Marcos – EMP.PE-14A (Succha).
- **Enfoque cuantitativo**, porque se midió fenómenos y usó estadísticas ya que fue necesario datos numéricos para validar la hipótesis.

##### 4.1.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN

###### 1) TIPO DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación es de tipo **explicativo**, porque se estudió la causal entre variables, manipulando la cantidad del relave minero (variable independiente) y observando su efecto en la estabilización de las propiedades del suelo de la subrasante de la carretera (variable dependiente).

## 2) NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN

**Descriptivo**, ya que describe las características iniciales de los suelos de la subrasante de la carretera EMP.PE 3N (Catac) – túnel Kahuish – Chavín de Huántar – San Marcos – EMP.PE-14A (Succha) y las características finales de estos suelos al ser estabilizados con el relave minero de Ticapampa.

## 3) DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

**Experimental**, ya que se manipulo la variable independiente y se observó su efecto en la variable dependiente.

**Transversal**, porque la medición de estudio se realizó una sola vez en el tiempo.

## 4.2. LIMITES DE LA INVESTIGACIÓN

Con el fin de validar la hipótesis de esta investigación se realizó la recolección de información y el desarrollo de ensayos de laboratorio.

Con respecto a la caracterización del relave minero de Ticapampa; de investigaciones anteriores que se han hecho a este relave se recopiló, interpretó, resumió y se hicieron ensayo de laboratorio para describir las características que son necesarias para la investigación. Se realizó la recopilación de información, pues realizar los ensayos correspondientes demandará tiempo y recursos considerables.

En cuanto a la determinación de las propiedades del suelo de subrasante de la carretera EMP.PE 3N (Cátac) – túnel Kahuish – Chavín de Huántar – San Marcos – EMP.PE-14A (Succha) se realizó los ensayos de laboratorio correspondientes, ya que de estudios anteriores se sabe que se encuentran tramos con suelos pobres para ser considerados óptimos en el diseño estructural del pavimento ( $CBR \leq 10$ ).

Para validar la hipótesis se realizaron ensayos de laboratorio, tanto para muestras inalteradas (suelo de la subrasante sin relave) y para suelo de la subrasante con relave a diferentes proporciones.

Se tomaron las siguientes proporciones de relave 5%, 10% con referencia al peso de la muestra con el fin de combinarlo con el suelo de la subrasante. Estas proporciones se tomaron teniendo como base lo establecido en el Manual de Carreteras, suelos, geología, geotecnia y pavimentos del Ministerio de Traspotes y Comunicaciones, donde recomienda para la estabilización de suelos con cal proporciones del 5% al 10% de su peso, pues de investigaciones anteriores se sabe que el relave minero de Ticapampa cuenta con características calcáreas.



Cabe recalcar que en esta investigación no se realizó el análisis del impacto ambiental, que se podría generar por el uso del relave minero de Ticapampa.

Para el planteamiento de la propuesta de relave como estabilizador de la subrasante se tomaron en cuenta varios factores con el fin de controlar el volumen de relave al ser utilizado, pero eso no implica que no se puedan generar pasivos ambientales, por eso se recomienda realizar una investigación más profunda sobre el caso.

### **4.3. CONTEXTO Y UNIDAD DE ANÁLISIS: POBLACIÓN Y MUESTRA**

#### **4.3.1. CONTEXTO**

Esta investigación se limita al estudio del relave abandonado en distrito de Ticapampa provincia de Recuay y a la carretera EMP.PE 3N (Cátac) – túnel Kahuish – Chavín de Huántar – San Marcos – EMP.PE-14A (Succha) todo esto en el departamento de Ancash.

##### **1) UBICACIÓN DEL RELAVE MINERO.**

El pasivo ambiental minero de Ticapampa de la compañía minera Yahuarcocha S.A. contempla aquellas operaciones mineras que han sido abandonadas aproximadamente hace 15 años, las cuales se encuentran ubicados en el distrito minero de Ticapampa, conocido como Mina Alianza, contiene mineralización polimetálica, esta se encuentra ubicada dentro de la cordillera Negra y pertenece políticamente al distrito de Ticapampa, provincias de Recuay, departamento de Ancash, entre las altitudes 4100 y 4975 msnm.

El depósito de relaves se encuentra en una franja entre la carretera a Huaraz y el Río Santa en la rivera izquierda del Río Santa.

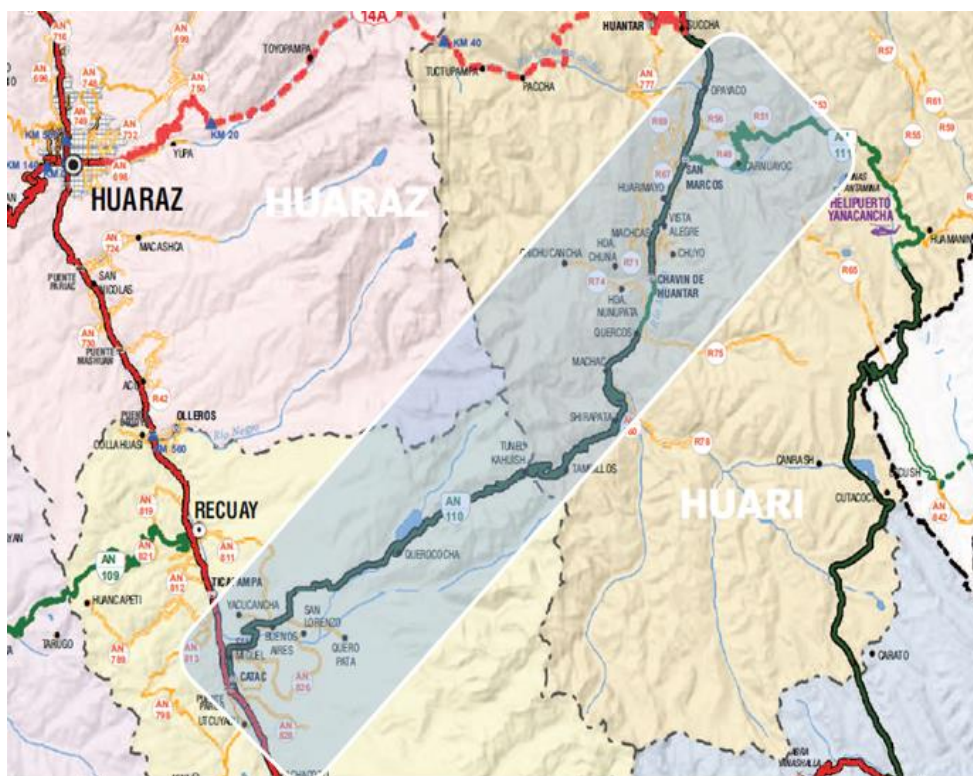


**Figura 3. Vista de la relavera de Ticapampa.**

## 2) UBICACIÓN DE LA CARRETERA.

Se ubica entre las provincias de Huari y Recuay, del departamento de Áncash; y forma parte de la Red Vial Departamental N° 110. Los pisos altitudinales varían entre 3,130 m.s.n.m. en la localidad de Chavín y 4,516 m.s.n.m. en el túnel Kahuish.

El inicio km 00+000 está ubicado en el distrito de Cátac, provincia de Recuay, empalme con la Ruta Nacional PE-3N. El fin del tramo se ubica en el km 84+960 distrito de Succha, provincia de Huari, la ruta está ubicada en el departamento de Áncash.



**Figura 4. Ubicación de carretera “EMP. PE 3N (Catac) – túnel Kahuish – Chavín de Huántar – San Marcos – EMP. PE-14A (Succha)”, en la provincia de Recuay y Huari.**

*Fuente: Ministerio de Transportes, 2014.*

### 4.3.2. UNIDAD DE ANÁLISIS: POBLACIÓN Y MUESTRA

#### 1) RELAVE MINERO DE TICAPAMPA

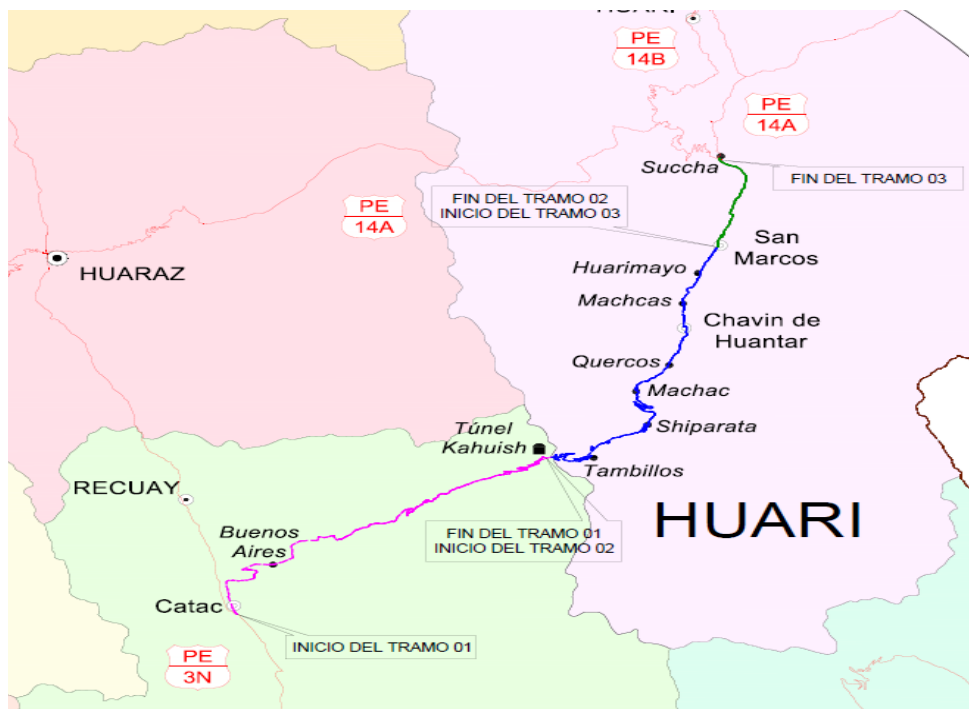
Se sabe en bases a investigaciones pasadas que la cancha de relaves presenta varios desniveles a lo largo de su extensión y ha sido depositada en forma paralela al Río Santa en su margen izquierda, por eso el diseño de la toma de muestras del relave se efectúa en la zona donde se encuentra, teniendo en cuenta que el depósito

tiene una extensión aproximada de 750 m x 120 m con una altura de 15 m, haciendo un total de 1`350,000 m<sup>3</sup> aproximados de volumen, al cual, si aplicamos una densidad de 3T/m<sup>3</sup>, estimamos la existencia de 4 millones de toneladas de residuo sólido minero en todo el depósito de Ticapampa.

Por la extensión del relave a muestrear se considerará para la extracción de muestras una malla imaginaria de 150 x 60 m, que subdividirá el total de la extensión del relave en 10 rectángulo imaginarios, de los cuales solo en 5 de ellos se tomó la muestra de 8 kilogramos cada uno.

## 2) SUELO DE SUBRASANTE DE LA CARRETERA EMP PE 3N (CATAC) – TÚNEL KAHUISH – CHAVÍN DE HUÁNTAR – SAN MARCOS – EMP. PE-14A (SUCCHA)

La carretera de donde se tomará la muestra de suelo de la subrasante consta de 84.96 kilómetros. Para la toma de muestras se sectorizo la carretera en tres tramos; tramo I Catac – Túnel Kahuish (Longitud = 34.96 Km), tramo II Túnel Kahuish – San Marcos (Longitud = 40.20 Km) y tramo III San Marcos – Succha (Longitud = 9.80 Km), de esta manera y con ayuda de estudios anteriores se identificó que las zonas más críticas con respecto a la calidad de la subrasante se encontraban en el tramo II.



**Figura 5. Sectorización de la carretera.**

Al momento de realizar la tesis, se encontraba en ejecución el proyecto “MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA DEPARTAMENTAL: EMP.PE-3N (CÁTAC) - TÚNEL KAHUIISH - CHAVÍN DE HUÁNTAR – SAN MARCOS - EMP. PE-14 A (SUCCHA) PROVINCIAS DE RECUAY Y HUARI, DEPARTAMENTO DE ANCASH”. Por lo tanto, se pudo identificar con mayor precisión los puntos donde el suelo de la subrasante no contaba con las propiedades óptimas ya que en estos tramos de vía la empresa contratista pretendía mejorar los suelos.

Por lo tanto, se tomaron 3 muestras de 90 kg cada una en las progresivas 62+440, 62+540 y 70+120 respectivamente ya que de estudios anteriores se detectó que en estas progresivas se encuentran suelos con características pobres para ser consideradas como buenas subrasantes y esto fue corroborado en la ejecución del proyecto antes mencionado.

#### **4.4. METODOS Y RECURSOS EMPLEADOS**

Al ser una investigación del tipo explicativa la metodología involucrada para la realización de la investigación comprendió las siguientes etapas, trabajo en gabinete, trabajo en campo, trabajo post campo (pruebas de laboratorio), análisis e interpretación de los resultados.

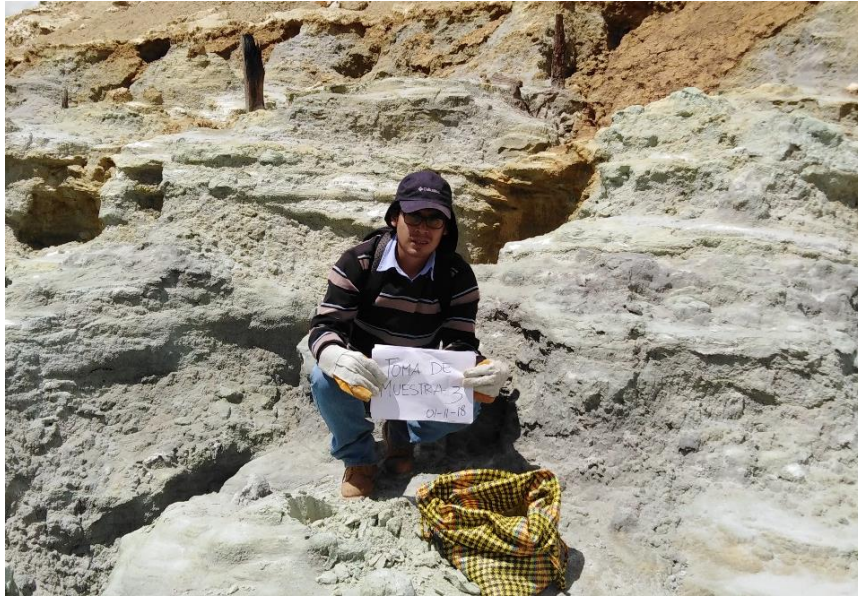
A continuación, se detalla las actividades realizadas mediante la metodología de estudio de investigación para cada etapa y se muestra la recolección del relave minero y de los suelos de la subrasante (ver figura 6 y 7).

##### **TRABAJO DE GABINETE:**

- Recopilación de información de estudios anteriores para precisar alguna de las propiedades del relave minero de Ticapampa.

##### **TRABAJO EN CAMPO:**

- Reconocimiento del terreno
- Recolección de muestras de relave.
- Recolección de muestra de suelo de la carretera aplicando la técnica de calicatas.



**Figura 6. Recolección de las muestras de relave.**



**Figura 7. Recolección de las muestras del suelo de la Subrasante.**

**TRABAJO EN POSCAMPO:**

Los ensayos se realizaron para cada objetivo específico.

1) Las características del relave minero de Ticapampa se obtuvieron con los siguientes ensayos:

- Granulometría MTC E 107.
- Humedad MTC E 108.
- Limite líquido MTC E 110
- Limite plástico MTC E 111

- 2) Para la caracterización del suelo de la subrasante de la carretera y el suelo de la subrasante de la carretera estabilizada con relave minero de Ticapampa se realizaron ensayos de laboratorio, en la figura 9 y 10 se observa el proceso de desarrollo de estos ensayos.

Propiedades del suelo.

- Análisis granulométrico por tamizado MTC E107.
- Límite líquido MTC E 110.
- Límite plástico MTC E 111.
- Clasificación AASHTO M-145.
- Humedad Natural MTC E 108.
- Ensayo y compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada MTC E 115.
- Ensayo de C.B.R. (relación de soporte de california) de los suelos compactados en laboratorio MTC E132.



**Figura 8. Ensayos de laboratorio.**



**Figura 9. Ensayo de C.B.R. de los suelos compactados en el laboratorio.**

#### ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Luego de la caracterización del relave y los ensayos de compactación con diferentes porcentajes de relave se realizó:

- El análisis y resumen de las propiedades físicas y químicas del relave minero de Ticapampa.
- Cuadros resúmenes con las propiedades físicas del suelo de la subrasante y el suelo de la subrasante estabilizada.
- Gráficos comparativos de cada calicata con el desarrollo del CBR de los suelos con la adición de cada porcentaje de relave.
- Redacción de conclusiones y recomendaciones
- Elaboración de un informe final

#### 4.5. PROCESAMIENTO DE RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS

**Tabla 11. Plan de recolección, procesamiento e interpretación de información.**

OBJETIVO	RECOLECTAR	PROCESAR	INTERPRETAR	ANALIZAR
1) Determinar las propiedades del relave minero de Ticapampa para su uso en la estabilización de suelos de subrasante en la carretera EMP.PE (CÁTAC) - TUNEL KAHUISH - CHAVIN DE HUANTAR - SAN MARCOS - EMP.PE-14A (SUCCHA).	Información de investigaciones pasadas, echas al relave.	Análisis químico.	Contenido de metales.	Propiedades del relave minero.
			Mineralogía.	
	Cinco muestras de relaves de 8 kg cada una.	Análisis físico.	Granulometría.	
			Límites de consistencia.	
2) Determinar las propiedades del suelo de subrasante de la carretera EMP.PE 3N (CÁTAC) – TUNEL KAHUISH – CHAVÍN DE HUÁNTAR – SAN MARCOS – EMP.PE-14A (SUCCHA) para su estabilización con el uso del relave minero de Ticapampa.	Tres muestras de 30 kg aproximadamente del suelo de subrasante de la carretera.	Análisis físicos y mecánicos de las propiedades del suelo de la subrasante.	Contenido de humedad.	Propiedades de la subrasante, para su clasificación.
			Granulometría.	
			Límites de consistencia	
			Soporte del suelo (CBR).	
3) Determinar las propiedades del suelo de subrasante de la carretera EMP.PE 3N (CÁTAC) – TUNEL KAHUISH – CHAVIN DE HUANTAR – SAN MARCOS – EMP.PE-14A (SUCCHA) estabilizada con el relave minero de Ticapampa.	Tres muestras de 60 kg aproximadamente del suelo de subrasante de la carretera estabilizada con el relave minero de Ticapampa	Análisis físicos y mecánicos de las propiedades del suelo de la subrasante.	Contenido de humedad.	Se verificó si con la adición del relave minero de Ticapampa se mejora las propiedades del suelo de subrasante.
			Granulometría.	
			Límites de consistencia	
			Soporte del suelo (CBR).	



## **CAPITULO V**

### **DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

Para el desarrollo de esta investigación primero se localizaron los tramos de la carretera con suelos problemáticos, para esto se contó la información del estudio de suelos del proyecto “Mejoramiento de la Carretera Departamental: EMP.3N (Catac) – Túnel Kahuish – Chavín de Huántar – San Marcos – EMP.PE (Succha) el cual se encontraba en ejecución en el tiempo en que se realizó esta investigación. Con estos estudios de suelos hechos en la carretera, se identificó las zonas donde la subrasante es pobre, dichas zonas se encuentran en el Tramo II (Túnel Kahuish a San Marcos).

Luego se extrajo muestras de suelo de las progresivas Km 62+440, Km 62+540 y Km 70+120. Cabe mencionar que las muestras se extraídas de las progresivas Km 62+440, Km 62+540 corresponde a la zona crítica del proyecto.

La segunda parte de la investigación se realizó en el laboratorio, en el cual se analizaron las propiedades del suelo de la subrasante y las propiedades de los suelos de la subrasante con la adición de relave minero de Ticapampa para cada una de las proporciones (5 y 10% de su peso), con los siguientes ensayos:

- Humedad Natural MTC E 108.
- Análisis granulométrico por tamizado MTC E107.
- Límite líquido MTC E 110.
- Límite plástico MTC E 111.

- Ensayo y compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada MTC E 115.
- Ensayo de C.B.R. (relación de soporte de california) de los suelos compactados en laboratorio MTC E132.

Como tercera y última parte se analizaron los datos obtenidos de los ensayos y se contrastó la hipótesis de la investigación.

A continuación, se presentan la información obtenida de los ensayos de laboratorio en cuadros resúmenes. Se debe precisar que esta información se presenta por cada objetivo que se planteó en esta investigación.

### 5.1. PROPIEDADES DEL RELAVE MINERO DE TICAPAMPA.

El relave minero de Ticapampa a través del tiempo ha sido fuente de varias investigaciones, investigaciones que han estudiado sus componentes con la finalidad de encontrar usos apropiado para estos, investigaciones que han descrito el impacto ambiental que este produce en su área de influencia, determinando el contenido de metales pesados responsables de la generación de aguas acidas.

De estas investigaciones (artículos científicos, tesis de pregrado y post grado), se recopiló toda la información referente a las propiedades y características principales del relave, los resultados y las conclusiones de estas se presentan a continuación.

#### 5.1.1. ANÁLISIS QUÍMICO

##### 1) ANÁLISIS GEOQUÍMICO

Romero y Flores (2011), señalan:

Se determinaron 36 elementos, como se muestra en la tabla 12 se identificó como metales pesados al Cromo (Cr), Cadmio (Cd), Cobre (Cu), Molibdeno (Mo), Zinc (Zn), Mercurio (Hg), Plomo (Pb), Arsénico (As) y Selenio (Se).

**Tabla 12. Contenido de metales (g/t) presente en los relaves de Ticapampa.**

	Cr ppm	Mo ppm	Mn ppm	Cu ppm	Zn ppm	Cd ppm	Hg ppm	Pb ppm	As Ppm	Se ppm
<b>Máximo</b>	817	2.57	4777	299.85	7851.5	54.21	770	6098.81	>10000	3.4
<b>Mínimo</b>	1.08	1.03	71	61.04	138.7	1.19	201	28.19	>10000	0.8
<b>LMP</b>			3000	500	3000	20	10	600	50	
<b>sedimentos</b>			Lim Ref.	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	

*Fuente: Romero, A.; Flores, S. (2011).*

Romero y flores concluyeron:

El relave es de naturaleza polimetálica sulfurado, con alto contenido de metales pesados de cobre, plomo, zinc, hierro, cadmio, arsénico. Esta naturaleza hace que el relave sea un potencial generador de aguas ácidas del medio circundante de la Cuenca del Río Santa. Cabe resaltar, que el relave es producto de la ganga, el cual es un residuo sólido de las Plantas Concentradoras de Flotación de Minerales Sulfurosos, puesto que tiene altas concentraciones de los metales pesados concentrados de cobre, plomo, zinc, así como la presencia de carbonatos.

## 2) MINERALOGÍA

Romero et al. (2008) en el artículo Estudio de los metales pesados en el relave abandonado de Ticapampa, señalan que:

La mineralogía de muestras de relaves mediante la Difracción de Rayos X (DRX), se observa que el relave está asociado con grandes cantidades de sulfuros metálicos, tales como: galena y pirita, los cuales son los principales sulfuros generadores de las aguas ácidas.

En la caracterización textural, mineralógica y química de las muestras de relaves por difracción de rayos X, se determinó que el relave está íntimamente asociado al cuarzo, el cual está en alto contenido superior al 80%, lo cual a su vez permitirá encapsular a los metales pesados presentes en el relave, ver tabla 13.

**Tabla 13. Mineralogía del relave**

Mineral	Fórmula	%
Cuarzo	SiO <sub>2</sub>	80.82
Muscovita	KAl <sub>2</sub> Si <sub>3</sub> AlO <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>	5.15
Jarosita	KFe <sub>3</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> (OH) <sub>6</sub>	4.11
Yeso	CaSO <sub>4</sub> 2H <sub>2</sub> O	3.45
Diáspora	AlOOH	2.79
Paligorkita	(Mg, Al) <sub>5</sub> (Si, Al) <sub>8</sub> O <sub>20</sub> (OH) <sub>2</sub> 8H <sub>2</sub> O	1.75
Clorita	(Mg, Al) <sub>6</sub> (Si, Al) <sub>4</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>8</sub>	1.21
Anhidrita	CaSO <sub>4</sub>	0.71

**Fuente:** Romero et al. (2008).

Romero et al. (2008) llegaron a la conclusión:

De acuerdo a los elementos encontrados en el análisis geoquímico del relave de Ticapampa, se puede deducir que la mineralogía trabajada en la zona corresponde a yacimientos polimetálicos de Cu, Pb, Zn, asociados con Au, Ag, formado dentro

de un medio volcánico epitermal de baja temperatura. Los elementos Hg y Sb son elementos volátiles.

La asociación mineralógica del relave con el silicio (superior a 80%), permitirá la encapsulación de los metales pesados, de este modo se remedia el relave, puesto que esta encapsulación natural determinará la mitigación de la generación de aguas ácidas contaminantes.

### 5.1.2. ANÁLISI FÍSICO

#### 1) ANÁLISIS GRANULOMETRICO

Este análisis determina la distribución del tamaño de las partículas o granos que constituyen un material. Esta distribución se analiza en base a su porcentaje de su peso total.

El relave minero de Ticapampa es un material fino (ver tabla 14), se pudo observar que el porcentaje retenido se encontró a partir de la malla #10, también se debe de precisar que, en el procedimiento de este ensayo, luego de lavar la porción de relave minero que se hizo pasar por las mallas, se pudo apreciar que el material fino del relave se conglomeró formando pequeñas partículas de forma planas y angulares, estas al momento del tamizado se volvieron a desintegrar (figura 10).

**Tabla 14. Análisis granulométrico del relave minero de Ticapampa.**

MALLA		% RETENIDO
Tamiz	mm	Relave minero
2"	50	0.00
1 ½"	37.5	0.00
1"	25	0.00
¾"	19	0.00
½"	12.5	0.00
⅜"	9.5	0.00
¼"	6.25	0.00
N°4	4.75	0.00
N°10	2	0.18
N°20	0.85	0.42
N°40	0.425	1.12
N°60	0.25	2.65
N°140	0.106	24.07
N°200	0.075	7.38
< N°200	Fondo	64.18



**Figura 10. Partículas formadas por el material fino del relave, luego de ser lavadas.**

## 2) LÍMITES DE CONSISTENCIA

Se realizó el ensayo, con el fin de poder clasificar el relave. En el ensayo se pudo comprobar que el relave minero de Ticapampa no presenta límites de consistencia.

En la tabla 15, se presenta las propiedades físicas del relave minero de Ticapampa, y en la figura 11 se muestra el equipo utilizado.

**Tabla 15. Características físicas del relave minero de Ticapampa.**

<b>RELAVE MINERO DE TICAPAMPA</b>	
<b>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO</b>	
% Grava	0.00
% Arena	35.82
% Finos	64.18
<b>LÍMITES DE CONSISTENCIA</b>	
% Limite liquido	N.P.
% Limite plástico	N.P.
% Índice de plasticidad	N.P.
<b>CLASIFICACIÓN DE SUELOS</b>	
Sistema SUCS	ML (limo de baja plasticidad)
Sistema AASHTO	A-4 (0) (suelo limoso no plástico)



**Figura 3. Ensayo: límite líquido del relave minero de Ticapampa.**

## **5.2. PROPIEDADES DEL SUELO DE SUBRASANTE DE LA CARRETERA EMP.PE 3N (CATAC) – TUNEL KAHUISH – CHAVÍN DE HUÁNTAR – SAN MARCOS – EMP.PE-14A (SUCCHA).**

A continuación, se presentan los ensayos de laboratorio realizados para determinar las propiedades del suelo de la subrasante de la carretera EMP.PE 3N (CATAC) – TUNEL KAHUISH – CHAVÍN DE HUÁNTAR – SAN MARCOS – EMP.PE-14A (SUCCHA. Dichos ensayos se realizaron para cada calita, estas propiedades que se obtendrán de los ensayos, serán la base con la cual se comprobara la eficiencia del relave minero de Ticapampa como estabilizante de suelo.

### **5.2.1. HUMEDAD NATURAL**

Para la obtención del contenido de humedad del suelo de la subrasante, se siguieron los pasos establecidos en el Manual de Ensayos de Materiales del Ministerio de Transportes y Comunicaciones en la sección MTC E 108.

En la tabla 16 se presenta el resumen de contenido de humedad obtenido para cada calicata.

**Tabla 16. Resumen contenido de humedad de la subrasante.**

	<b>PROGRESIVA</b>	<b>PROFUNDIDAD (m)</b>	<b>CONTENIDO DE HUMEDAD (W %)</b>
C-1	Km 62+440	0.60 – 150	15.98
C-2	Km 62+540	0.60 – 150	4.01
C-3	Km 70+120	0.40 – 150	11.68

En la figura 12 se aprecia el procedimiento del ensayo y el equipo utilizado.



**Figura 4. Peso de la muestra seca más el recipiente en la determinación del contenido de humedad.**

### **5.2.2. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO**

Para la obtención del contenido de humedad del suelo de la subrasante, se siguieron los pasos establecidos en el Manual de Ensayos de Materiales del Ministerio de Transportes y Comunicaciones en la sección MTC E 107.

Se realizó el análisis de granulométrico de las muestras de suelo para poder obtener la clasificación de estos.

De las tres muestras de calicatas analizadas se determinó para cada una su curva granulométrica, con esta se obtuvo el contenido de grava, arena y finos presentes en el suelo de cada calicata, los que se muestran en la tabla 17.

**Tabla 17. Porcentaje de contenido de grava, arena y finos de los suelos.**

MATERIAL	CALICATA	CALICATA	CALICATA
	1	2	3
	Km 62+440	Km 62+540	Km 70+120
<b>Grava</b>	10.94 %	18.52 %	18.70 %
<b>Arena</b>	87.49 %	34.44 %	44.74 %
<b>Finos</b>	1.57 %	47.04 %	36.56 %



**Figura 5. Granulometría de los suelos.**

### 5.2.3. DETERMINACIÓN DE LOS LÍMITES DE CONSISTENCIA

Para la obtención de los límites de consistencia del suelo de la subrasante, se siguieron los pasos establecidos en el Manual de Ensayos de Materiales del Ministerio de Transportes y Comunicaciones en la sección MTC E 110 para la determinación del límite líquido y MTC E 111 para la determinación del límite plástico, el equipo usado se muestra en la figura 14.

Cabe mencionar que las dos primeras calicatas, las cuales se encuentran en las progresivas 62+440 y 62+540 respectivamente, fueron extraídas de un tramo de la vía donde se encontró suelos arcillosos. En la tabla 18 se presentan los resultados obtenidos con los ensayos.



**Tabla 18. Límites de consistencia del suelo de la subrasante.**

	<b>% LL</b>	<b>% LP</b>	<b>% IP</b>
<b>C-01</b>	37.0	16.0	21.0
<b>C-02</b>	29.0	14.0	15.0
<b>C-03</b>	25.0	13.0	12.0

Con los datos obtenidos se clasificaron los suelos de la subrasante, las que se muestran en la tabla 19.

**Tabla 19. Clasificación del suelo de la subrasante.**

	<b>PROGRESIVA</b>	<b>CLASIFICACIÓN</b>	
		<b>SUCS</b>	<b>AASHTO</b>
C-1	Km 62+440	SC	A-2-6(0)
C-2	Km 62+540	SC	A-6(3)
C-3	Km 70+120	SC	A-6(1)



**Figura 6. Determinación del límite líquido.**

#### 5.2.4. ENSAYO Y COMPACTACIÓN DE SUELOS EN LABORATORIO UTILIZANDO UNA ENERGÍA MODIFICADA.

Este ensayo se realizó según los parámetros establecidos en el Manual de Ensayos de Materiales del Ministerio de Transportes y Comunicaciones en la sección MTC E 115. Se realizó el ensayo para cada muestra de suelo de las calicatas. En la figura 15 se puede apreciar los instrumentos utilizados en el ensayo.

Cabe mencionar que se utilizó el procedimiento de compactación tipo “A”, método de preparación “Húmedo”.

Se determinó el contenido de humedad y la máxima densidad seca, obteniendo así la curva de compactación del suelo. En la tabla 20 se presentan los resultados.

Tabla 20. Proctor modificado del suelo de la subrasante.

	PROGRESIVA	MDS (g/cm <sup>3</sup> )	CHO (%)
C-1	Km 62+440	1.94	11.5
C-2	Km 62+540	1.98	9.21
C-3	Km 70+120	2.08	8.99



Figura 7. Instrumentos para el desarrollo del Ensayo de compactación con energía modificada.

### 5.2.5. ENSAYO DE C.B.R. DE LOS SUELOS COMPACTADOS EN LABORATORIO

Se midió la capacidad de soporte de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad controlados, en la tabla 21 se presentan los resultados, del ensayo. Este ensayo se realizó según los parámetros establecidos en el Manual de Ensayos de Materiales del Ministerio de Transportes y Comunicaciones en la sección MTC E 132. En la figura 16 se muestra el equipo utilizado.

**Tabla 21. Ensayo CBR del suelo de la subrasante.**

	PROGRESIVA	C.B.R. AL 95% M.D.S.	C.B.R. AL 100% M.D.S.
C-01	Km 62+440	8.0 (%)	8.2 (%)
C-02	Km 62+540	7.7 (%)	9.7 (%)
C-03	Km 70+120	13.1 (%)	23.3 (%)

Según el Manual de Carreteras: Suelos, Geología y Pavimentos, el suelo de las calicatas N°1 y N°2 cuentan con una Subrasante Regular, mientras que el suelo de la calicata N°3 cuenta con una subrasante buena.



**Figura 8. Ensayo de C.B.R.**

**Tabla 22. Características del suelo de la subrasante Calicata N° 1**

<b>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO</b>		
% Grava	10.94	
% Arena	87.49	
% Finos	1.57	
<b>LÍMITES DE CONSISTENCIA</b>		
% Limite líquido	37.00	
% Limite plástico	16.00	
% Índice de plasticidad	21.00	
<b>CLASIFICACIÓN DE SUELOS</b>		
Sistema SUCS	SC	
Sistema AASHTO	A-2-6(0)	
<b>ENSAYO DE COMPACTACIÓN</b>		
	Natural	
Máxima densidad seca (gr/cm <sup>3</sup> )	1.94	
Óptimo contenido de humedad	11.5	
<b>RELACIÓN DEL SOPORTE CBR</b>		
	% CBR (95%)	% CBR (100%)
	8.0	8.2

**Tabla 23. Características del suelo de la subrasante Calicata N° 2**

<b>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO</b>		
% Grava	18.52	
% Arena	34.44	
% Finos	47.04	
<b>LÍMITES DE CONSISTENCIA</b>		
% Limite líquido	29.00	
% Limite plástico	14.00	
% Índice de plasticidad	15.00	
<b>CLASIFICACIÓN DE SUELOS</b>		
Sistema SUCS	SC	
Sistema AASHTO	A-6(3)	
<b>ENSAYO DE COMPACTACIÓN</b>		
	Natural	
Máxima densidad seca (gr/cm <sup>3</sup> )	1.98	
Óptimo contenido de humedad	9.21	
<b>RELACIÓN DEL SOPORTE CBR</b>		
	% CBR (95%)	% CBR (100%)
	7.7	9.7

**Tabla 24. Características del suelo de la subrasante Calicata N° 3**

<b>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO</b>			
% Grava		18.70	
% Arena		44.74	
% Finos		36.56	
<b>LÍMITES DE CONSISTENCIA</b>			
% Limite liquido		25.00	
% Limite plástico		13.00	
% Índice de plasticidad		12.00	
<b>CLASIFICACIÓN DE SUELOS</b>			
Sistema SUCS		SC	
Sistema AASHTO		A-6(1)	
<b>ENSAYO DE COMPACTACIÓN</b>			
Natural			
Máxima	densidad	seca	2.08
(gr/cm <sup>3</sup> )			
Óptimo	contenido	de	8.99
humedad			
<b>RELACIÓN DEL SOPORTE CBR</b>			
		% CBR	% CBR (100%)
		(95%)	
		13.1	23.3

En las tablas 22, 23 y 24, se presenta los cuadros con las características del suelo de la subrasante para cada calicata.

### **5.3. PROPIEDADES DEL SUELO DE SUBRASANTE DE LA CARRETERA EMP.PE 3N (CATAC) – TUNEL KAHUISH – CHAVÍN DE HUÁNTAR – SAN MARCOS – EMP.PE-14A (SUCCHA) ESTABILIZADA CON EL RELAVE MINERO DE TICAPAMPA.**

Después de determinar las propiedades físicas y mecánicas del suelo de la subrasante obtenido en las calicatas. Se procedió a combinar el suelo de estas con el relave minero de Ticapampa, en las proporciones 5% y 10% de con relación a su peso. A continuación, se presentan las propiedades físicas y mecánicas de los suelos combinados.

### 5.3.1. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

Se realizó el ensayo siguiendo los procedimientos establecidos por el MTC y se obtuvieron de las tres muestras de calicatas analizadas su curva granulométrica y con esta se obtuvo el contenido de grava, arena y finos presentes en el suelo de cada calicata, como se muestra en la tabla 25.

**Tabla 25. Porcentaje de contenido de grava, arena y finos de los suelos estabilizados con el relave minero de Ticapampa.**

MATERIAL	CALICATA 1		CALICATA 2		CALICATA 3	
	5%	10%	5%	10%	5%	10%
% RELAVE	5%	10%	5%	10%	5%	10%
% Grava	10.94	9.85	17.59	16.67	17.76	16.83
% Arena	55.17	47.14	33.74	33.59	38.12	36.19
% Finos	34.44	43.02	48.67	49.74	44.12	46.98

### 5.3.2. DETERMINACIÓN DE LOS LÍMITES DE CONSISTENCIA

Se realizó el ensayo siguiendo los procedimientos establecidos por el MTC y se obtuvieron los resultados que se muestran en la tabla 26.

**Tabla 26. Límites de consistencia del suelo de la subrasante estabilizado con el relave minero de Ticapampa.**

CALICATA	% LL		% LP		% IP	
	5%	10%	5%	10%	5%	10%
% relave	5%	10%	5%	10%	5%	10%
C-01	30.0	32.0	12.0	15.0	18.0	17.0
C-02	30.0	28.0	14.0	19.0	16.0	9.0
C-03	25.0	24.0	14.0	13.0	11.0	11.0

Con los datos obtenidos se clasificaron los suelos de la subrasante como se muestra en la tabla 27.

**Tabla 27. Clasificación del suelo de la subrasante con la adición de relave minero de Ticapampa.**

	% Relave	CLASIFICACIÓN	
		SUCS	AASTHO
C-1	5%	SC	A-2-6(1)
	10%	SC	A-6(3)
C-2	5%	SC	A-6(4)
	10%	SC	A-4(2)
C-3	5%	SC	A-6(1)
	10%	SC	A-6(2)

### 5.3.3. ENSAYO DE COMPACTACIÓN DE SUELOS EN LABORATORIO UTILIZANDO UNA ENERGÍA MODIFICADA

Se determinó el óptimo (CHO) contenido de humedad y la máxima densidad seca, obteniendo así la curva de compactación del suelo. En la tabla 28, se presentan los resultados obtenidos del ensayo de compactación del suelo de la subrasante estabilizado con porcentajes de relave minero de Ticapampa.

**Tabla 28. Proctor modificado del suelo de la subrasante estabilizado con el relave minero de Ticapampa.**

CALICATA	% de RELAVE	MDS (g/cm <sup>3</sup> )	CHO (%)
<b>C-1</b> (Km 62+440)	5%	1.99	9.80
	10%	2.04	7.71
<b>C-2</b> (Km 62+540)	5%	2.00	9.21
	10%	2.02	9.17
<b>C-3</b> (Km 70+120)	5%	2.10	8.73
	10%	2.11	7.89

### 5.3.1. ENSAYO DE C.B.R. DE LOS SUELOS COMPACTADOS EN LABORATORIO

Se midió la capacidad de soporte de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad controlados del suelo de la subrasante con la adición del relave minero de Ticapampa bajo condiciones de humedad y densidad controlados. En la tabla 29 se presentan los resultados del ensayo.

**Tabla 29. Ensayo CBR del suelo de la subrasante estabilizado con el relave minero de Ticapampa**

CALICATA	% de RELAVE	C.B.R. AL 95% M.D.S	C.B.R. AL 100% M.D.S.
<b>C-1</b> (Km 62+440)	5%	9.5 (%)	10.4 (%)
	10%	13.3 (%)	22.8 (%)
<b>C-2</b> (Km 62+540)	5%	9.8 (%)	10.6 (%)
	10%	11.7 (%)	12.0 (%)
<b>C-3</b> (Km 70+120)	5%	19.5 (%)	26.3 (%)
	10%	21.2 (%)	43.5 (%)

## 5.4. CONSTATACIÓN DE HIPÓTESIS

Se comparó las características iniciales del suelo y las obtenidas luego de la adición del relave minero de Ticapampa.

### 5.4.1. CALICATA N°1

Como era lógico en el análisis granulométrico se aprecia un incremento de los finos, esto por la granulometría del relave minero que se adicionó a las muestras. En cuanto a los límites de consistencia, se logra apreciar una disminución del índice de plasticidad al aumentar el porcentaje de relave añadido, se clasifican estos suelos como arena limo arcillosa para el suelo más 5% de relave minero y suelo arcilloso para el suelo más 10% de relave minero.

Se aprecia que la clasificación AASHTO del suelo con 10% del relave minero indica un suelo peor a la inicial.

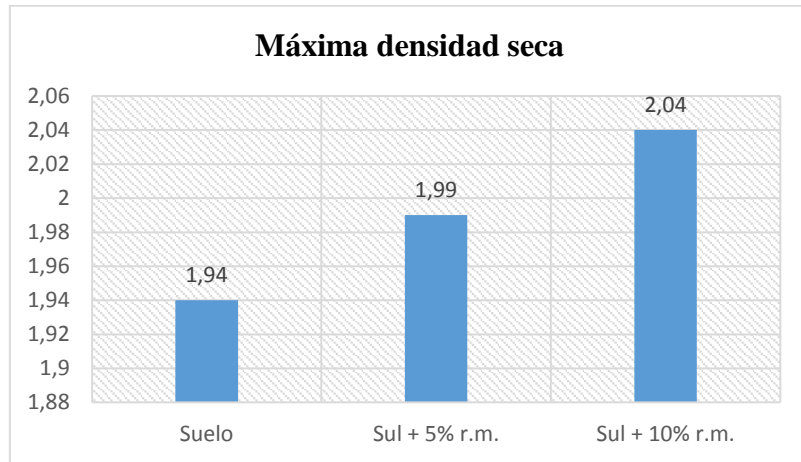
En la tabla 30 se presentan las características obtenidas para el suelo de la subrasante de la calicata N°1.

**Tabla 30. Características del suelo de la calicata N°1 en su estado natural y estabilizado con 5% y 10% de relave.**

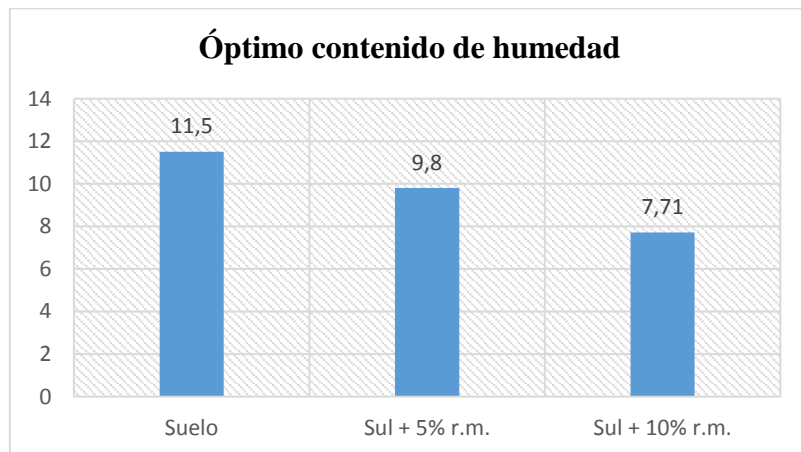
	Suelo	Sul + 5%	Sul + 10%
<b>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO</b>			
% Grava	10.94	10.94	9.85
% Arena	87.49	55.17	47.14
% Finos	1.57	34.44	43.02
<b>LÍMITES DE CONSISTENCIA</b>			
% Limite liquido	37.00	30.00	32.00
% Limite plástico	16.00	12.00	15.00
% Índice de plasticidad	21.00	18.00	17.00
<b>CLASIFICACIÓN DE SUELOS</b>			
Sistema SUCS	SC	SC	SC
Sistema AASHTO	A-2-6(0)	A-2-6(1)	A-6(3)
<b>ENSAYO DE COMPACTACIÓN</b>			
Natural			
Máxima densidad seca (gr/cm <sup>3</sup> )	1.94	1.99	2.04
Optimo contenido de humedad	11.5	9.80	7.71
<b>RELACIÓN DEL SOPORTE CBR</b>			
% CBR (95%)	8	9.5	13.3
% CBR (100%)	8.2	10.4	22.8



En cuanto al ensayo de compactación que se realizó, como se muestra en la figura 17 se aprecia que con la adición del relave minero aumenta la máxima densidad seca y en la figura 18 se aprecia la disminución del contenido de humedad óptimo.

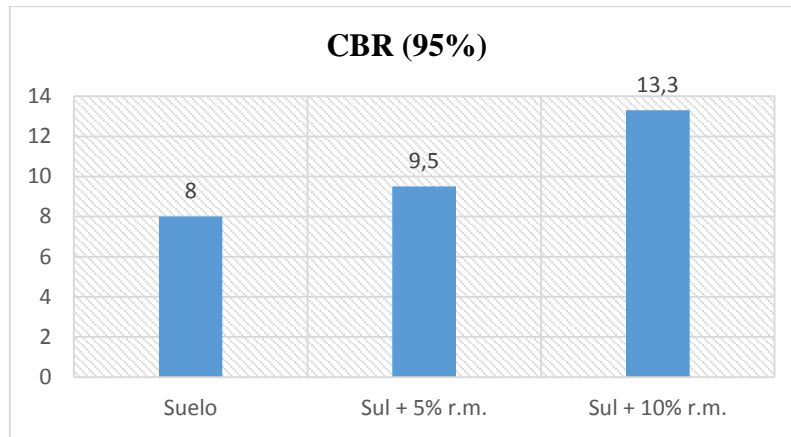


**Figura 9: Desarrollo de la M.D.S. de la calicata N°1 con la adición de relave minero.**

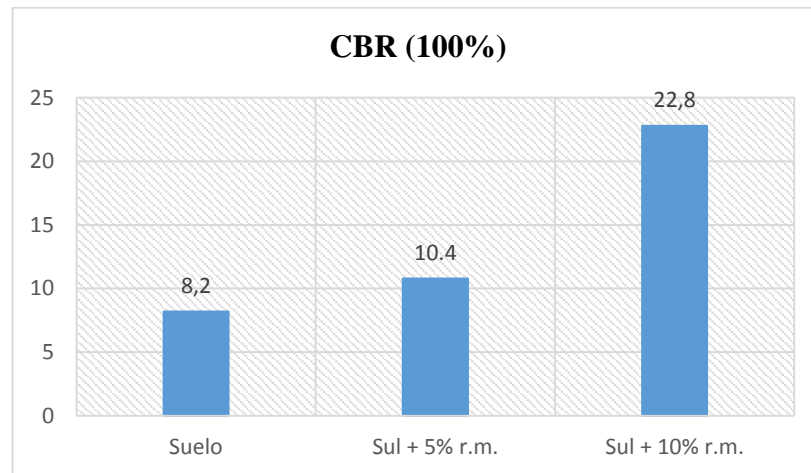


**Figura 10: Desarrollo de la C.H.O. de la calicata N°1 con la adición de relave minero.**

Los datos obtenidos en el ensayo de compactación prevén el aumento del CBR, esto queda comprobado con el ensayo de relación del soporte CBR, en los datos obtenidos se logra apreciar que este se incrementa (ver figura 19 y 20), pero no se llega a visualizar una relación lineal con el porcentaje de relave adicionado



**Figura 11: Desarrollo del % de C.B.R. al 95% de la calicata N°1 con la adición del relave minero.**



**Figura 12: Desarrollo del % de C.B.R. al 100% de la calicata N°1 con la adición del relave minero.**

#### 5.4.2. CALICATA N°2

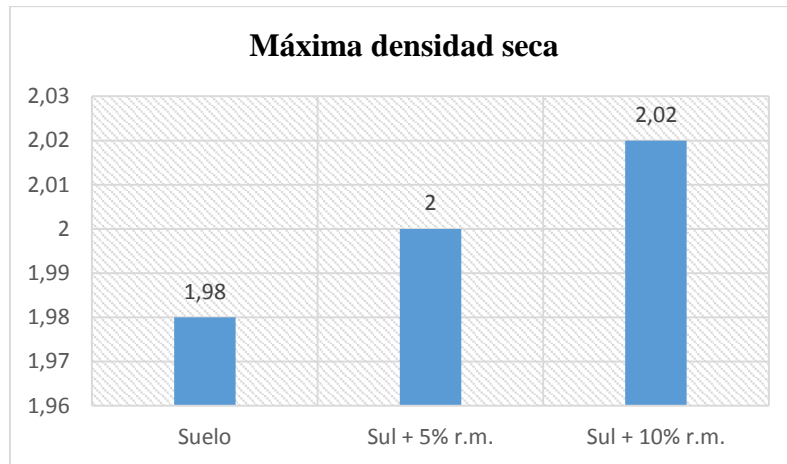
En la tabla 31 se presentan las características obtenidas para el suelo de la subrasante de la calicata N°2.

**Tabla 31. Características del suelo de la calicata N°2 en su estado natural y estabilizado con 5% y 10% de relave.**

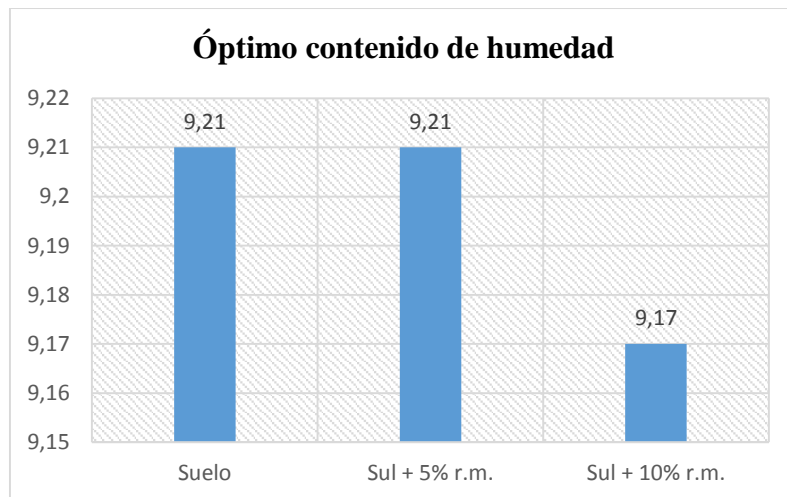
	Suelo	Sul + 5%	Sul + 10%
<b>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO</b>			
% Grava	18.52	17.59	16.67
% Arena	34.44	33.74	33.59
% Finos	47.04	48.67	49.74
<b>LÍMITES DE CONSISTENCIA</b>			
% Limite líquido	29.00	30.00	28.00
% Limite plástico	14.00	14.00	19.00
% Índice de plasticidad	15.00	16.00	9.00
<b>CLASIFICACIÓN DE SUELOS</b>			
Sistema SUCS	SC	SC	SC
Sistema AASHTO	A-6(3)	A-6(4)	A-4(2)
<b>ENSAYO DE COMPACTACIÓN</b>			
Natural			
Máxima densidad seca (gr/cm <sup>3</sup> )	1.98	2.00	2.02
Óptimo contenido de humedad	9.21	9.21	9.17
<b>RELACIÓN DEL SOPORTE CBR</b>			
% CBR (95%)	7.7	9.8	11.7
% CBR (100%)	9.7	10.6	12.0

Se aprecia en la granulometría un incremento del porcentaje de los finos, producto de la granulometría del relave. No se aprecia una tendencia en los límites de consistencia como en el suelo anterior. Estos suelos se clasifican como suelo arcilloso para el suelo más 5% de relave minero y suelo limoso para el suelo más 10% de relave minero. La clasificación AASHTO del suelo con 10% del relave minero indica un suelo con mejores propiedades que el inicial.

En cuanto al ensayo de compactación que se realizó, como se muestra en la figura 21 se puede apreciar que con la adición del relave minero aumenta la máxima densidad seca y en la figura 22 se aprecia la disminución del contenido de humedad óptimo.

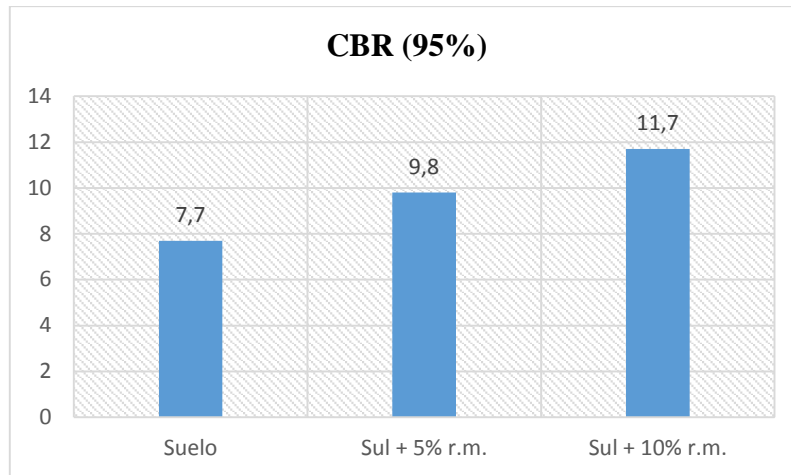


**Figura 13. Desarrollo de la M.D.S. de la calicata N°2 con la adición de relave minero.**

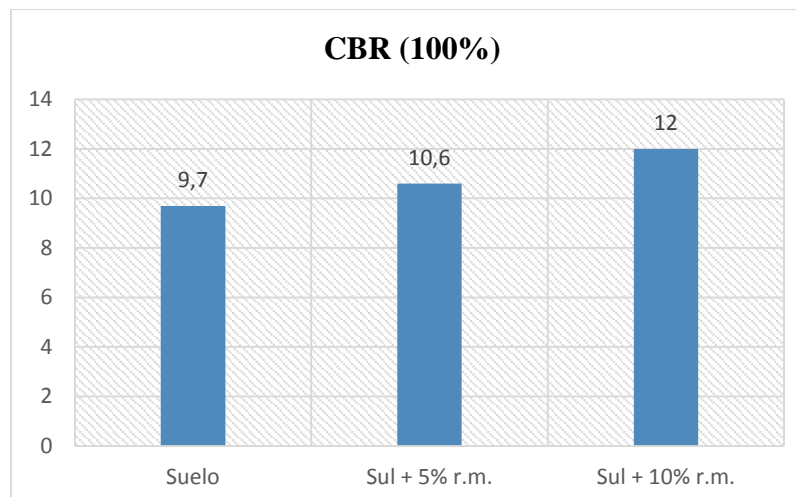


**Figura 14. Desarrollo de la C.H.O. de la calicata N°2 con la adición de relave minero.**

Los datos obtenidos en el ensayo de compactación prevén el aumento del CBR, esto queda comprobado con el ensayo de relación del soporte CBR, lográndose apreciar que este se incrementa en función del porcentaje de relave minero de Ticapampa añadido (ver figura 23 y 24).



**Figura 15. Desarrollo del % de C.B.R. de la calicata N°2 al 95% con la adición del relave minero**



**Figura 16. Desarrollo del % de C.B.R. de la calicata N°2 al 100% con la adición del relave minero.**

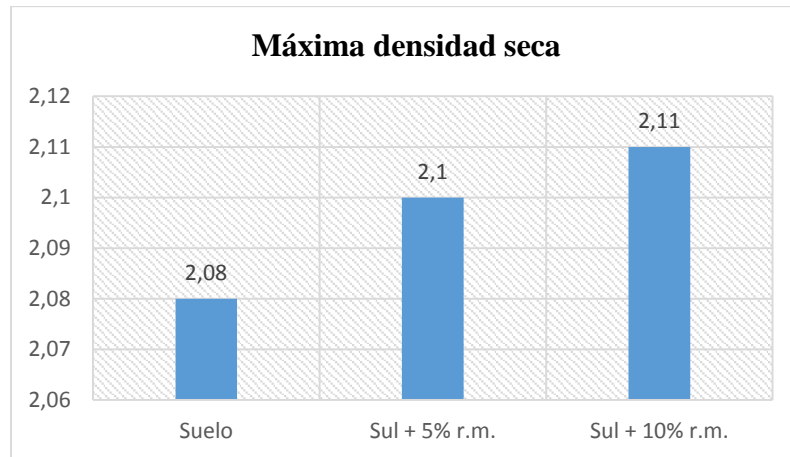
### 5.4.3. CALICATA N°3

En la tabla 32 se presentan las características obtenidas para el suelo de la subrasante de la calicata N°3.

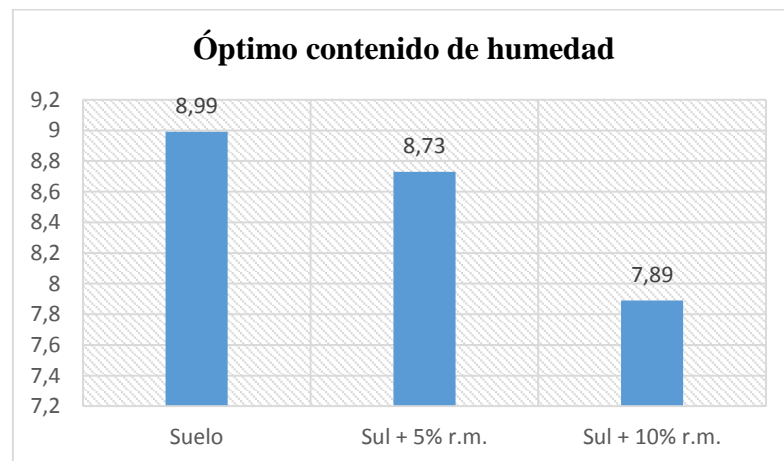
**Tabla 32. Características del suelo de la calicata N°3 en su estado natural y estabilizado con 5% y 10% de relave.**

	Suelo	Sul + 5%	Sul + 10%
<b>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO</b>			
% Grava	18.70	17.76	16.83
% Arena	44.74	38.12	36.19
% Finos	36.56	44.12	46.98
<b>LÍMITES DE CONSISTENCIA</b>			
% Limite liquido	25.00	25.00	24.00
% Limite plástico	13.00	14.00	13.00
% Índice de plasticidad	12.00	11.00	11.00
<b>CLASIFICACIÓN DE SUELOS</b>			
Sistema SUCS	SC	SC	SC
Sistema AASHTO	A-6(1)	A-6(1)	A-6(2)
<b>ENSAYO DE COMPACTACIÓN</b>			
Natural			
Máxima densidad seca (gr/cm <sup>3</sup> )	2.08	2.10	2.11
Óptimo contenido de humedad	8.99	8.73	7.89
<b>RELACIÓN DEL SOPORTE CBR</b>			
% CBR (95%)	13.1	19.5	21.2
% CBR (100%)	23.3	26.3	43.5

En cuanto al ensayo de compactación que se realizó, como se muestra en la figura 25 se puede apreciar que con la adición del relave minero aumenta la máxima densidad seca y en la figura 26 se aprecia la disminución del contenido de humedad óptimo.

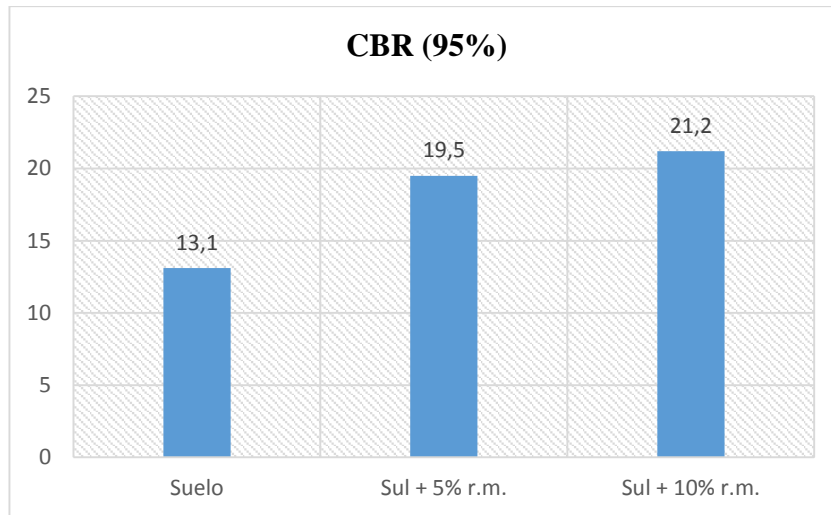


**Figura 17. Desarrollo de la M.D.S. de la calicata N°3 con la adición de relave minero.**

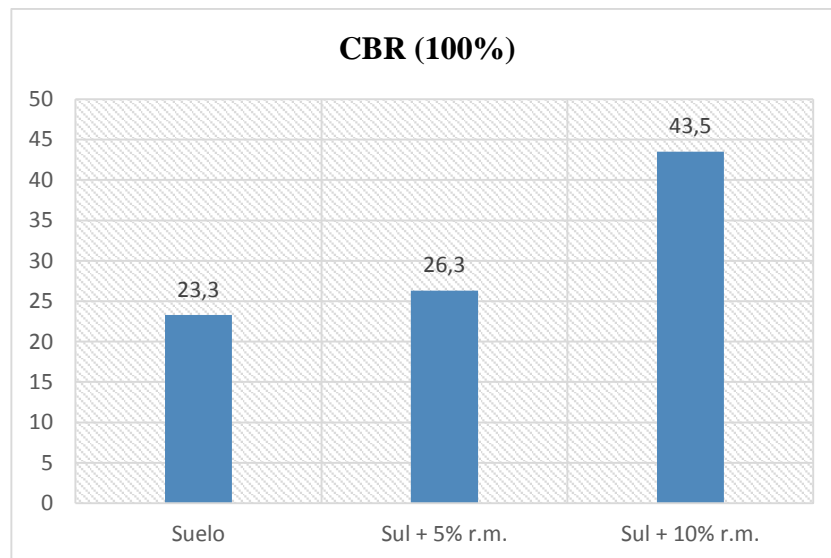


**Figura 18. Desarrollo de la C.H.O. de la calicata N°3 con la adición de relave minero.**

Los datos obtenidos en el ensayo de compactación prevén el aumento del CBR, esto queda comprobado con el ensayo de relación del soporte CBR, en los datos obtenidos se logra apreciar que este se incrementa en función del porcentaje de relave minero de Ticapampa añadido (ver figura 27 y 28).



**Figura 19. Desarrollo del % de C.B.R. de la calicata N°3 al 95% con la adición del relave minero.**



**Figura 20. Desarrollo del % de C.B.R. de La calicata N°3 al 100% con la adición del relave minero.**

Todos los ensayos fueron realizados y determinados en el laboratorio de mecánica de suelos “EMV”, con la guía del Ing. Elio Milla Vergara. En los anexos se presentan los certificados de los ensayos y los certificados de calibración de los equipos usados.



## CONCLUSIONES

Luego de realizada la investigación y analizando los datos obtenidos de los diferentes ensayos realizados se puede concluir:

1. El relave minero de Ticapampa es de naturaleza polimetálica sulfurado, con alto contenido de metales pesados de cobre, plomo, zinc, hierro, cadmio, arsénico; la mineralogía trabajada en la zona corresponde a yacimientos polimetálicos de cobre (Cu), plomo (Pb), zinc (Zn), asociados con oro (Au) y plata (Ag). Está compuesto por arenas y finos, no presenta límites de consistencia y se define como un suelo limoso no plástico. Pese a contar con una mineralogía asociada con el silicio (superior al 80%) el cual permite la encapsulación de los metales pesados, es un potencial generador de aguas acidas.
2. Los suelos de la carretera EMP.PE 3N (Catac) – túnel Kahuish – Chavín de Huántar – San Marcos – EMP.PE-14A (Succha) extraídos en las progresivas Km 62+440, Km 62+540 y Km 70+120 se pueden clasificar según AASHTO como A-2-6(0), A-6(3) Y A-6(1) y cuentan con una relación de soporte C.B.R. al 95 % de 8.0 %, 7.7 % y 13.1 % respectivamente.
3. Los suelos de la carretera EMP.PE 3N (Catac) – túnel Kahuish – Chavín de Huántar – San Marcos – EMP.PE-14A (Succha) extraídos en las progresivas Km 62+440, Km 62+540 y Km 70+120 estabilizados con el relave minero de Ticapampa cuentan con una relación de soporte C.B.R. al 95 % de 9.5 %, 9.8 % y 19.5 % con una clasificación según AASHTO de A-2-6(1), A-6(4) y A-6(1) respectivamente esto para la adición del 5 % de relave en relación a su peso y un soporte C.B.R. al 95 % de 13.3 %, 11.7 % y 21.2 % con una

clasificación según AASHTO de A-6(3), A-4(2) y A-6(2) respectivamente esto para la adición del 10 % de relave en relación a su peso.

Los resultados entregados en esta investigación son de nivel preliminar, para garantizar la fijación y encapsulamiento de los metales pesados en el tiempo y no generar contaminación posterior en lugares donde se aplique este tipo de estabilización, es necesario hacer un estudio de impacto ambiental en la zona por un periodo de tiempo razonable.

Se debe tener especial consideración en las propiedades de plasticidad del suelo, pues de estas características dependen la calidad del suelo de la subrasante.

Finalmente, de manera general, con la adición del relave minero de Ticapampa se logra estabilizar el suelo de la subrasante de la carretera EMP.PE (Catac) - tunel Kahuish - Chavín de Huántar - San Marcos - EMP.PE-14A (Succha). Pues se logró incrementar la capacidad de soporte (CBR) de las muestras luego de la adición de manera porcentual del relave minero.

## RECOMENDACIONES

1. Ampliar el estudio de los usos que se podrían dar al relave minero de Ticapampa, este cuenta con propiedades que logran encapsular los metales pesados presentes en su composición, así que se debe de buscar un uso en el cual se pueda controlar su volumen y el contacto con el agua, de manera que se evite los drenajes ácidos de relaves productos de la oxidación de los metales, principales contaminantes de los pasivos ambientales.
2. Realizar una investigación sobre el posible impacto ambiental que generaría la aplicación en la ejecución de un proyecto, la estabilización de suelos con el relave minero de Ticapampa.
3. Siguiendo la metodología de esta investigación se recomienda seguir los estudios y generar una tabla con la cantidad optima de relave minero para diferentes tipos de suelo.
4. Se recomienda la aplicación del relave minero de Ticapampa como estabilizador de suelos, siempre y cuando se tenga el estudio de impacto ambiental y bajo entera responsabilidad del profesional responsable y/o proyectista, su uso no compromete al autor.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anicama, G. (2010). Estudio experimental del empleo de materiales de desecho de procesos mineros en aplicaciones prácticas con productos cementicios. (*Tesis de pregrado*). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima.
- Consejo Minero. (2017). *Proceso de Relave Minero*. Santiago de Chile.
- Dammert, A., & Molinelli, F. (2007). *Panorama de la Minería en el Perú*. Lima: OSINERGMIN.
- Dirección General de Asuntos Ambientales Mineros. (2009). Guía Ambiental para el Manejo de Relaves Mineros. (*guía*). Ministerio de Energía y Minas, Lima.
- Duffus, J. (2002). "*Heavy Metals*" - a Meaningless Term (Vol. 74). Reino Unido: International Union of Pure and Applied Chemistry.
- Graza, F., & Quispe, R. (2015). Determinación de Pb, Cd, As en aguas del Río Santa en el pasivo minero ambiental de Recuay, Ticapampa; Recuay - Ancash. (*Tesis de pregrado*). Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima.
- Ingenieros Civiles y Contratistas Generales S.A. (2016). "MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA EMP. PE 3N (CÁTAC) - TÚNEL KAHUISH - CHAVÍN DE HUÁNTAR - SAN MARCOS - EMP. PE-14A (SUCCHA), ÁNCASH". (*Expediente Técnico de Obra*). Gobierno Regional de Áncash., Huaraz.
- Medina, K. D., & Montano, F. C. (2014). Determinación de factores de bioconcentración y traslocación de metales pesados en el *juncus arcticus* Willd. Y *cortaderia rudijscula* Stapf, de áreas contaminadas con el pasivo ambiental

- minero Alianza - Ancash 2013. (*Tesis de pregrado*). Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, Huaraz.
- MINAM. (2009). Aprueban disposiciones para la implementación de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiente (ECA) para agua. (*Decreto Supremo 023-2009*. Ministerio del Ambiente, Lima.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2014). "*Manual de Carreteras*" *Suelos, Geología, Geotécnica y Pavimentos: Sección Suelos y Pavimentos*. Lima: Dirección General de Caminos y Ferrocarriles.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2016). *Manual de Ensayos de Materiales*. Lima: Dirección General de Caminos y Ferrocarriles.
- Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento. (2010). *Norma CE.010 Pavimentos Urbanos*. Lima: Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción.
- Presidencia de la República de México. (2018). *Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente*. México: Diario Oficial Federación.
- Ramos, C., & Torres, J. (2014). Estudio del relave minero de la mina Acchilla del distrito de Ccochaccasa como estabilizante para carreteras de tercer orden a nivel de base. (*Tesis de pregrado*). Universidad Nacional de Huancavelica, Huancavelica.
- Rojas, A. (2007). Manejo ambiental relaves - disposición subacuática. (*Tesis de pregrado*). Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima.

Romero, A., & Flores, S. (2010). Reuso de relaves mineros como insumo para la elaboración de agregados de construcción para fabricar ladrillos y baldosas. *Revista de la Facultad de Ingeniería Industrial de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos*, 75-82. Obtenido de <https://doi.org/10.15381/idata.v13i2.6193>

Romero, A., & Flores, S. (2011). Caracterización de la pasta de relave para uso como relleno en labores mineras. *Revista Del Instituto De Investigación De La Facultad De Ingeniería Geológica, Minera, Metalurgica Y Geográfica*, 1-9. Obtenido de <https://revistasinvestigación.unmsm.edu.pe/index.php/iigeo/article/view/427>

Romero, A., Flores, S., & Medina, R. (2008). Estudio de los metales pesados en el relave abandonado de Ticapampa. *Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalurgica y Geográfica*, 13-16. Obtenido de <https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/iigeo/article/view/390>

Romero, A., Flores, S., & Pacheco, W. (2012). Estudio de la calidad de agua de la cuenca del río Santa. *Revista Del Instituto De Investigación De La Facultad De Ingeniería Geológica, Minera, Metalurgica Y Geográfica*, 61-69. Obtenido de <https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/iigeo/article/view/2753>

Romero, A., Medina, R., Puente, L., Flores, S., Guadalupe, E., de La Cruz, E., & Ramirez, V. (2007). Los residuos sólidos mineros del proceso de flotación de minerales en la cuenca del río Santa - Áncash. *Instituto De Investigación De La Facultad De Ingeniería Geológica, Minera, Metalurgica Y Geográfica*,

14-18. Obtenido de

<https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/iigeo/article/view/430>

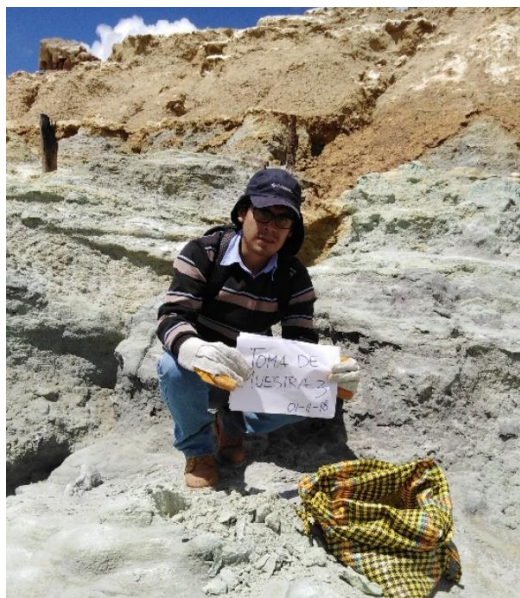
Ugaz, R. (2006). Estabilización de suelos y su aplicación en el mejoramiento de subrasante. (*Tesis de pregrado*). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima.

Winterkorn, H., & Pamukcu, S. (1990). *Soil Stabilización and Grouting*. Foundation engineering handbook: Fang, Hsai-Yang.

Yupari, A. (2004). *Informe Preliminar Pasivos Ambientales Mineros en Sudamérica y Tendencias en la Legislación Ambiental Minera y los Pasivos Ambientales*. Santiago de Chile: CEPAL.

## ANEXOS

### ANEXO A. PANEL FOTOGRÁFICO



Toma de muestras de relave minero de Ticapampa.



Toma de muestras de suelo de la subrasante de la carretera EMP.PE (CATAC) - TUNEL KAHUISH - CHAVÍN DE HUÁNTAR - SAN MARCOS - EMP.PE-14A (SUCCHA).





Separación y preparación de las muestras de suelo para los ensayos.



Ensayo Análisis Granulométrico de suelos por tamizado



Ensayos de laboratorio, determinación del límite líquido y límite plástico.



Ensayos de laboratorio, compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada.



Ensayos de laboratorio, C.B.R. de los suelos compactados en laboratorio.

## ANEXO B. ENSAYOS DE LABORATORIO

### B.1. RELAVEMINERO DE TICAPAMPA



**EMV LABORATORIOS Y CONSTRUCCIÓN E.I.R.L.**  
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, ENSAYO DE MATERIALES, CONCRETO Y PAVIMENTOS  
 LABORATORIO QUÍMICO DE SUELOS Y AGUAS  
 OBRAS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA

#### HOJA RESUMEN - ENSAYOS ESTANDAR - CLASIFICACIÓN SUCS Y AASHTO (MTC ANEXO 1)

Tesis : Estabilización del suelo de la subrasante usando el relave minero de Ticapampa  
 en la carretera EMP PE 3N (Catac) - Tunel Kahuish - Chavin de Huantar - San Marcos  
 EMP. PE - 14A (Succha), Ancash

Tesista : BIC. Jesús Miguel Romero Flores  
 Lugar : Recuay - Ancash

Fecha : 30-11-18  
 Muestreado por : Interesado  
 Técnico : Y.D.T

DATOS DE LA MUESTRA	Progresiva	--							
	Cantera	Ticapampa							
	Calicata	--							
	Profundidad	--							
Porcentaje de material que pasa la malla de porción de material < 3"	3"	100.00							
	2"	100.00							
	1 1/2"	100.00							
	1"	100.00							
	3/4"	100.00							
	3/8"	100.00							
	# 4	100.00							
	# 10	99.82							
	# 20	99.40							
	# 40	98.27							
	# 60	95.63							
# 140	71.55								
# 200	64.18								
Coef. de Uniformidad Cu		--							
Coef. de Curvatura Cc		--							
Porcentaje de Material	Grava	0.00							
	Arena	35.82							
	Finos	64.18							
Mitad de Fracción Gruesa		17.91							
Limites de	L.L.	N.P.							
	L.P.	N.P.							
Consistencia		I.P.							
Humedad Natural (%)		7.02							
Indice de Grupo	IG - LL	0.00							
	IG - IP	-4.92							
	Indice de Grupo	0							
Clasificación AASTHO		A-4(0)							
Clasificación SUCS		ML							
Descripción		Limo arenoso							

  
**Ing. Elio Alejandro Milla Vergara**  
 INGENIERO CIVIL  
 REG. CIP. N° 42832

Laboratorio: Prolongación Caraz N° 1019 - Huaraz

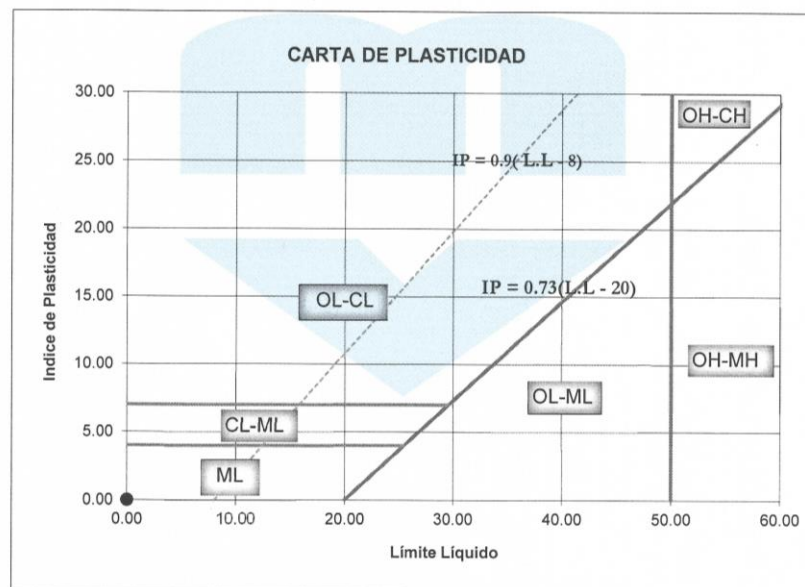
Jr. Ramón Castilla N° 939 - Huaraz - Teléfono (043) 422315 Celular 944-931238 - E-mail: emv.laboratorio@gmail.com



**HOJA RESUMEN - ENSAYOS ESTANDAR - CLASIFICACIÓN SUCS Y AASHTO**  
(MTC ANEXO 1)

**UBICACIÓN DE PUNTOS EN LA CARTA DE PLASTICIDAD**

Proyecto	: Estabilización del suelo de la subrasante usando el relave minero de Ticapampa en la carretera EMP PE 3N (Catac) - Tunel Kahuish - Chavin de Huanter - San Marcos EMP. PE - 14A (Succha), Ancash	
Solicita	: BIC. Jesús Miguel Romero Flores	Fecha : 30-11-18
Lugar	: Recuay - Ancash	Muestreado por : Interesado Técnico : Y.D.T
<b>DATOS DE LA MUESTRA</b>		
Cantera	: Ticapampa	Progresiva : --
Calicata	: --	Muestra : mab-01
		Material : Relave Minero Profundidad : --



COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERU  
Ing. Elio Alejandro Millia Vergara  
INGENIERO CIVIL  
REG. CIP N° 42832



## EMV LABORATORIOS Y CONSTRUCCIÓN E.I.R.L.

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, ENSAYO DE MATERIALES, CONCRETO Y PAVIMENTOS  
LABORATORIO QUÍMICO DE SUELOS Y AGUAS  
OBRAS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA

### CONTENIDO DE HUMEDAD DE UN SUELO (MTC E 108)

Tesis	: Estabilización del suelo de la subrasante usando el relave minero de Ticapampa en la carretera EMP PE 3N (Catac) - Tunel Kahuish - Chavin de Huanter - San Marcos EMP. PE - 14A (Succha), Ancash		
Bachiller	: BIC. Jesús Miguel Romero Flores	Fecha	: 30-11-18
Lugar	: Recuay - Ancash	Muestreado por	: Interesado
Técnico : Y.D.T			
DATOS DE LA MUESTRA			
Cantera	: Ticapampa	Progresiva	: -- Material : Relave Minero
Calicata	: --	Muestra	: mab-01 Profundidad : --

DESCRIPCION		M - 1	M - 2
Peso Suelo Húmedo + Contenedor	M <sub>cws</sub>	186.55	204.67
Peso Suelo Seco + Contenedor	M <sub>cs</sub>	174.80	194.20
Peso Contenedor	M <sub>c</sub>	24.55	26.05
Peso Suelo Seco (M <sub>w</sub> =M <sub>cws</sub> -M <sub>cs</sub> )	M <sub>w</sub>	150.25	168.15
Peso del Agua (M <sub>s</sub> =M <sub>cws</sub> -M <sub>c</sub> )	M <sub>s</sub>	11.75	10.47
Contenido de Humedad (w=M <sub>w</sub> /M <sub>s</sub> )	w	7.82	6.23

Humedad Promedio (%)	7.02
----------------------	------

COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERU  
  
Ing. Elio Alejandro Milla Vergara  
INGENIERO CIVIL  
REG. CIP N° 42832

Laboratorio: Prolongación Caraz N° 1019 - Huaraz  
Jr. Ramón Castilla N° 939 - Huaraz - Teléfono (043) 422315 Celular 944-931238 - E-mail: emv.laboratorio@gmail.com



## EMV LABORATORIOS Y CONSTRUCCIÓN E.I.R.L.

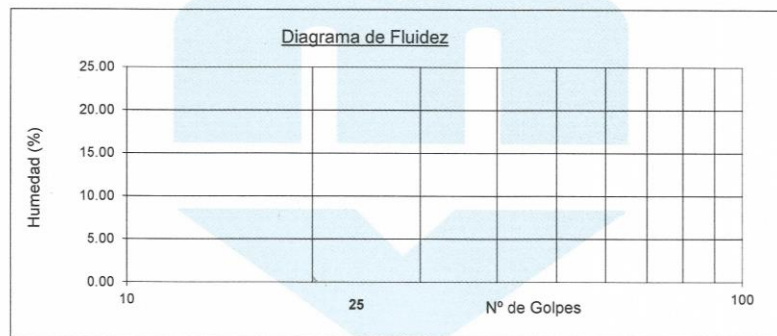
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, ENSAYO DE MATERIALES, CONCRETO Y PAVIMENTOS  
LABORATORIO QUÍMICO DE SUELOS Y AGUAS  
OBRAS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA

### LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO DE LOS SUELOS E INDICE DE PLASTICIDAD (MTC E 110 y MTC E 111)

Tesis	: Estabilización del suelo de la subrasante usando el relave minero de Ticapampa en la carretera EMP PE 3N (Catac) - Tunel Kahuish - Chavin de Huantar - San Marcos EMP. PE - 14A (Succha), Ancash		
Tesista	: BIC. Jesús Miguel Romero Flores	Fecha	: 30-11-18
Lugar	: Recuay - Ancash	Muestreado por	: Interesado
Técnico : Y.D.T			
DATOS DE LA MUESTRA			
Cantera	: Ticapampa	Progresiva	: -.-
Calicata	: -.-	Muestra	: mab-01
		Material	: Relave Minero
		Profundidad	: -.-

#### DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO

N° de golpes	18	-.-	
P.Suelo Húmedo+Rec.	58.40		
P.Suelo Seco+Rec.	54.75		
Peso del Recipiente	37.50		
Peso Suelo Seco	17.25		
Peso del Agua	3.65		
C. de Humedad %	21.16		



#### DETERMINACION DEL LIMITE PLASTICO

P.Suelo Húmedo+Rec.	-.-	
P.Suelo Seco+Rec.		
Peso del Recipiente		
Peso Suelo Seco		
Peso del Agua		
C. de Humedad %		

Limite Líquido = N.P.

Limite Plástico = N.P.

Indice Plasticidad = N.P.


**COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERU**  
*Ing. (Ciro) Alejandro Milla Vergara*  
 INGENIERO CIVIL  
 REG. CIP N° 42832

Laboratorio: Prolongación Caraz N° 1019 - Huaraz

Jr. Ramón Castilla N° 939 - Huaraz - Teléfono (043) 422315 Celular 944-931238 - E-mail: emv.laboratorio@gmail.com

## B.2. CALICATA N°1 – SUELO DE LA SUBRASANTE



**EMV LABORATORIOS Y CONSTRUCCIÓN E.I.R.L.**  
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, ENSAYO DE MATERIALES, CONCRETO Y PAVIMENTOS  
 LABORATORIO QUÍMICO DE SUELOS Y AGUAS  
 OBRAS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA

### HOJA RESUMEN - ENSAYOS ESTANDAR - CLASIFICACIÓN SUCS Y AASHTO (MTC ANEXO 1)

Tesis : Estabilización del suelo de la subrasante usando el relave minero de Ticapampa en la carretera EMP PE 3N (Catac) - Tunel Kahuish - Chavin de Huantar - San Marcos EMP. PE - 14A (Succha), Ancash

Tesista : BIC. Jesús Miguel Romero Flores

Lugar : Recuay - Ancash

Fecha : 05/01/2019  
 Muestreado por : Interesado  
 Técnico : Y.D.T

DATOS DE LA MUESTRA	Progresiva	62+440
	Cantera	--
	Calicata	C-01
	Profundidad	--
Porcentaje de material que pasa la malla de porción de material < 3"	3"	100.00
	2"	100.00
	1 1/2"	100.00
	1"	100.00
	3/4"	99.71
	3/8"	93.65
	# 4	89.06
	# 10	83.92
	# 20	73.96
	# 40	60.01
	# 60	48.02
# 140	11.46	
# 200	1.57	
Coef. de Uniformidad Cu		4.21
Coef. de Curvatura Cc		0.75
Porcentaje de Material	Grava	10.94
	Arena	87.49
	Finos	1.57
Mitad de Fracción Gruesa		49.21
Límites de	L.L.	37.00
	L.P.	16.00
Consistencia	I.P.	21.00
Humedad Natural (%)		15.98
Índice de Grupo	IG - LL	-6.18
	IG - IP	-1.48
	Índice de Grupo	0
Clasificación AASTHO		A-2-6(0)
Clasificación SUCS		SP
Descripción		Arena mal graduada


**COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERÚ**  
 Ing. Alejandro Milla Vergara  
 INGENIERO CIVIL  
 REG. CIP. N° 42332

Laboratorio: Prolongación Caraz N° 1019 - Huaraz

Jr. Ramón Castilla N° 939 - Huaraz - Teléfono (043) 422315 Celular 944-931238 - E-mail: emv.laboratorio@gmail.com



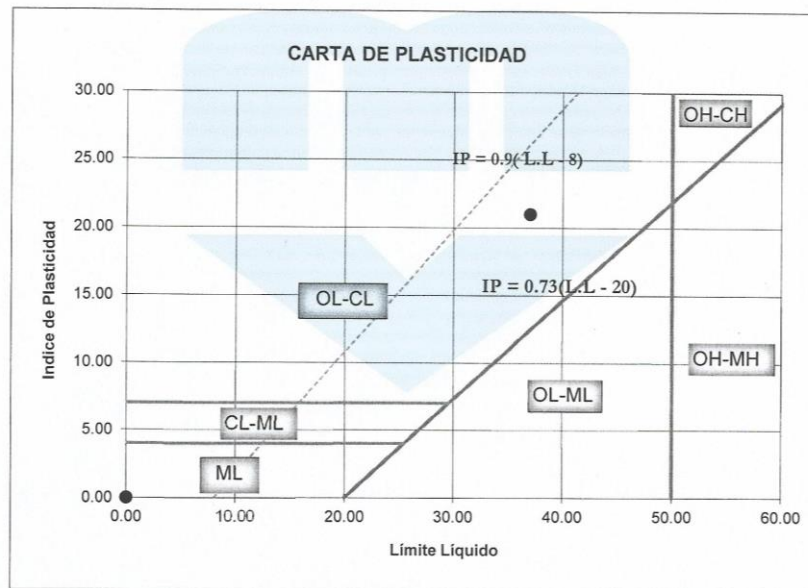
## EMV LABORATORIOS Y CONSTRUCCIÓN E.I.R.L.

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, ENSAYO DE MATERIALES, CONCRETO Y PAVIMENTOS  
LABORATORIO QUÍMICO DE SUELOS Y AGUAS  
OBRAS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA

### HOJA RESUMEN - ENSAYOS ESTANDAR - CLASIFICACIÓN SUCS Y AASHTO (MTC ANEXO 1)

#### UBICACIÓN DE PUNTOS EN LA CARTA DE PLASTICIDAD

Proyecto	: Estabilización del suelo de la subrasante usando el relave minero de Ticapampa en la carretera EMP PE 3N (Catac) - Tunel Kahuish - Chavin de Huantar - San Marcos EMP. PE - 14A (Succha), Ancash	
Solicita	: BIC. Jesús Miguel Romero Flores	Fecha : 05/01/2019
Lugar	: Recuay - Ancash	Muestreado por : Interesado Técnico : Y.D.T
DATOS DE LA MUESTRA		
Cantera	: --	Progresiva : 62+440
Calicata	: C-01	Muestra : mab-01
		Material : Sub-rasante Profundidad : --



COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERU  
Ing. Elio Alejandro Milla Vergara  
INGENIERO CIVIL  
REG. C.P. N° 42832

Laboratorio: Prolongación Caraz N° 1019 - Huaraz  
Jr. Ramón Castilla N° 939 - Huaraz - Teléfono (043) 422315 Celular 944-931238 - E-mail: emv.laboratorio@gmail.com





## EMV LABORATORIOS Y CONSTRUCCIÓN E.I.R.L.

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, ENSAYO DE MATERIALES, CONCRETO Y PAVIMENTOS  
LABORATORIO QUÍMICO DE SUELOS Y AGUAS  
OBRAS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA

### CONTENIDO DE HUMEDAD DE UN SUELO (MTC E 108)

Tesis	: Estabilización del suelo de la subrasante usando el relave minero de Ticapampa en la carretera EMP PE 3N (Catac) - Tunel Kahuish - Chavin de Huantar - San Marcos EMP. PE - 14A (Succha), Ancash		
Bachiller	: BIC. Jesús Miguel Romero Flores	Fecha	: 30-11-18
Lugar	: Recuay - Ancash	Muestreado por	: Interesado
		Técnico	: Y.D.T
<b>DATOS DE LA MUESTRA</b>			
Cantera	: --	Progresiva	: 62+440
Calicata	: C-01	Muestra	: mab-01
		Material	: Sub-rasante
		Profundidad	: --

DESCRIPCION		M - 1	M - 2
Peso Suelo Húmedo + Contenedor	Mcws	164.84	165.18
Peso Suelo Seco + Contenedor	Mcs	145.80	145.10
Peso Contenedor	Mc	23.98	22.11
Peso Suelo Seco (Mw=Mcws-Mcs)	Mw	121.82	122.99
Peso del Agua (Ms=Mcws-Mc)	Ms	19.04	20.08
Contenido de Humedad (w=Mw/Ms)	w	15.63	16.33

<b>Humedad Promedio (%)</b>	<b>15.98</b>
-----------------------------	--------------

 COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERÚ  
*Ing. Elio Alejandro Milla Vergara*  
INGENIERO CIVIL  
REG. CIP N° 42332



## EMV LABORATORIOS Y CONSTRUCCIÓN E.I.R.L.

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, ENSAYO DE MATERIALES, CONCRETO Y PAVIMENTOS  
LABORATORIO QUÍMICO DE SUELOS Y AGUAS  
OBRAS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA

### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO (MTC E 107)

Tesis : Estabilización del suelo de la subrasante usando el relave minero de Ticapampa en la carretera EMP PE 3N (Catac) - Tunel Kahuish - Chavin de Huantar - San Marcos  
EMP. PE - 14A (Succha), Ancash

Tesista : BIC. Jesús Miguel Romero Flores  
Lugar : Recuay - Ancash

Fecha : 04-01-19  
Muestreado por : Interesado  
Técnico : Y.D.T

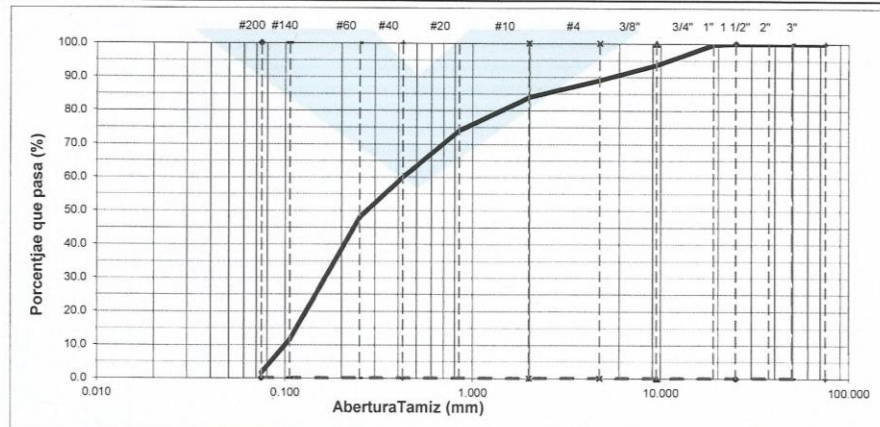
#### DATOS DE LA MUESTRA

Cantera : -- Progresiva : 62+440 Material : Sub-rasante  
Calicata : C-01 Muestra : mab-01 Tamaño Máximo : 3/4"

#### DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA

Masa Inicial Seca (gr) = 4000.00 Porción de masa que pasa tamiz N° 10 (gr) = 128.1  
Masa Lavada y Seca (gr) = 3937.11 Masa de Material Grueso (gr) = 643.10  
Masa Retenido 3"(gr) = 0.00 % que pasa N° 200 = 1.57

Abertura de Tamices		RETENIDO EN CADA TAMIZ		PORCENTAJE ACUMULADO	
ASTM	mm	Masa (gr)	%	Retenido	Que pasa
3"	75.000	0.00	0.00	0.0	100.0
2"	50.000	0.00	0.00	0.0	100.0
1 1/2"	37.500	0.00	0.00	0.0	100.0
1"	25.000	0.00	0.00	0.0	100.0
3/4"	19.000	11.60	0.29	0.3	99.7
3/8"	9.500	242.60	6.07	6.4	93.6
# 4	4.750	183.50	4.59	10.9	89.1
# 10	2.000	205.40	5.14	16.1	83.9
# 20	0.850	15.20	9.96	26.0	74.0
# 40	0.425	21.30	13.95	40.0	60.0
# 60	0.250	18.30	11.99	52.0	48.0
# 140	0.106	55.80	36.56	88.5	11.5
# 200	0.075	15.10	9.89	98.4	1.6
< 200	Fondo	2.40	1.57	100.0	0.0



% GRAVA	10.94	% Gruesa :	0.29	D60 (mm) =	0.425
		% Fina :	10.65	D30 (mm) =	0.179
% ARENA	87.49	% Gruesa :	5.14	D10 (mm) =	0.101
		% Media :	23.91	Coef. Unif. (Cu) =	4.21
		% Fina :	58.44	Coef. Conc. (Cc) =	0.75
% FINOS	1.57				

Ing. Alejandro Milla Vergara  
 INGENIERO CIVIL  
 REG. CIP N° 43832

Laboratorio: Prolongación Caraz N° 1019 - Huaraz

Jr. Ramón Castilla N° 939 - Huaraz - Teléfono (043) 422315 Celular 944-931238 - E-mail: emv.laboratorio@gmail.com



## EMV LABORATORIOS Y CONSTRUCCIÓN E.I.R.L.

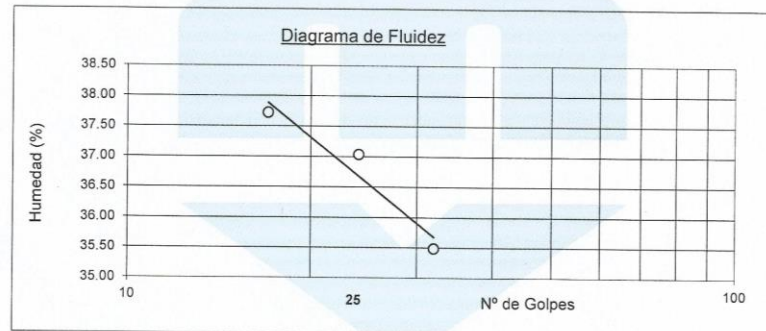
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, ENSAYO DE MATERIALES, CONCRETO Y PAVIMENTOS  
LABORATORIO QUÍMICO DE SUELOS Y AGUAS  
OBRAS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA

### LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO DE LOS SUELOS E INDICE DE PLASTICIDAD (MTC E 110 y MTC E 111)

Tesis	: Estabilización del suelo de la subrasante usando el relave minero de Ticapampa en la carretera EMP PE 3N (Catac) - Tunel Kahuish - Chavin de Huantar - San Marcos EMP. PE - 14A (Succha), Ancash		
Tesista	: BIC. Jesús Miguel Romero Flores	Fecha	: 05/01/2019
Lugar	: Recuay - Ancash	Muestreado por	: Interesado
Técnico : Y.D.T			
<b>DATOS DE LA MUESTRA</b>			
Cantera	: --	Progresiva	: 62+440
Calicata	: C-01	Muestra	: mab-01
		Material	: Sub-rasante
		Profundidad	: --

#### DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO

N° de golpes	17	24	32
P.Suelo Húmedo+Rec.	28.24	29.53	26.74
P.Suelo Seco+Rec.	25.03	26.06	24.10
Peso del Recipiente	16.52	16.69	16.66
Peso Suelo Seco	8.51	9.37	7.44
Peso del Agua	3.21	3.47	2.64
C. de Humedad %	37.72	37.03	35.48



#### DETERMINACION DEL LIMITE PLASTICO

P.Suelo Húmedo+Rec.	21.93	22.41
P.Suelo Seco+Rec.	20.98	21.50
Peso del Recipiente	15.07	15.50
Peso Suelo Seco	5.91	6.00
Peso del Agua	0.95	0.91
C. de Humedad %	16.07	15.17

Límite Líquido = 37.0

Límite Plástico = 16.0

Índice Plasticidad = 21.0


**COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERÚ**  
 Ing. Elio Mejía Milla Vergara  
 INGENIERO CIVIL  
 REG. C.I.P. N° 42832

Laboratorio: Prolongación Caraz N° 1019 - Huaraz

Jr. Ramón Castilla N° 939 - Huaraz - Teléfono (043) 422315 Celular 944-931238 - E-mail: emv.laboratorio@gmail.com



**GRAVEDAD ESPECIFICA**  
(MTC E 206)

Tesis	: Estabilización del suelo de la subrasante usando el relave minero de Ticapampa en la carretera EMP PE 3N (Catac) - Tunel Kahuish - Chavin de Huanter - San Marcos EMP. PE - 14A (Succha), Ancash		
Tesista	: BIC. Jesús Miguel Romero Flores	Fecha	: 09-02-19
Lugar	: Recuay - Ancash	Muestreado por	: Interesado
		Tecnico	: Y.D.T
<b>DATOS DE LA MUESTRA</b>			
Cantera	: -.-	Progresiva	: 62+440
Calicata	: C-01	Muestra	: mab-01
Material	: Sub-rasante	Profundidad	: -.-

Agregado	GRUESO	GRUESO
Tamaño máximo de la muestra	3/4"	3/4"
Tipo de frasco utilizado	Cesta	Cesta
Masa del frasco dentro del agua (gr) (A)	1000.80	1000.80
Masa de la muestra saturada superficialmente seca (gr) (B)	472.60	359.90
Masa de la muestra saturada dentro del agua + frasco (gr) (C)	1294.60	1224.60
Masa de la muestra seca (gr) (D)	463.00	351.60
Masa de la muestra saturada dentro del agua (gr) (E)	293.80	223.80
Gravedad Especifica B/(B-E)	2.64	2.64
<b>Gravedad Especifica Promedio</b>	<b>2.64</b>	
Gravedad Especifica Aparente, $Gea = D/(D - C)$	2.74	2.75
Densidad Aparente, $Da = 0.9975D/(D-E)$	2.73	2.74
<b>Densidad Aparente Promedio, Da</b>	<b>2.74</b>	

Observación:

  
COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERU  
Ing. Elio Alejandro Milla Vergara  
INGENIERO CIVIL  
REG. CIP. N° 42832



## EMV LABORATORIOS Y CONSTRUCCIÓN E.I.R.L.

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, ENSAYO DE MATERIALES, CONCRETO Y PAVIMENTOS  
LABORATORIO QUÍMICO DE SUELOS Y AGUAS  
OBRAS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA

### COMPACTACION DE SUELOS EN LABORATORIO UTILIZANDO UNA ENERGIA MODIFICADA (PROCTOR MODIFICADO) (MTC E115)

Tesis	Estabilización del suelo de la subrasante usando el relave minero de Ticapampa en la carretera EMP PE 3N (Catac) - Tunel Kahuish - Chavin de Huantar - San Marcos EMP. PE - 14A (Succha), Ancash	Fecha : 12-01-19
Tesista	BIC. Jesús Miguel Romero Flores	Muestreado por : Interesado
Lugar	Recuay - Ancash	Técnico : Y.D.T

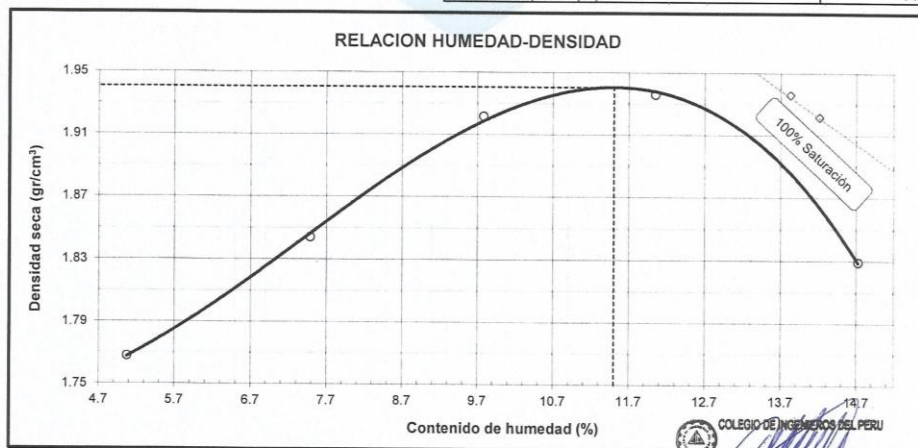
#### DATOS DE LA MUESTRA

Cantera : --	Muestra : mab-01	Progresiva : 62+440
Calicata : C-01		Clasif. (SUCS) : SP
Material : Sub-rasante		Clasif. (AASHTO) : A-2-6(0)

PROCEDIMIENTO DE COMPACTACION: <b>A</b>	Método de Preparación : <b>Húmedo</b>	Molde N° : <b>04</b>
Pisón: <b>Manual</b>	Gravedad Específica (Gs) : <b>2.64</b>	Tamiz N° : <b># 4</b>
Golpes por capa: <b>25</b>	Capas : <b>Cinco</b>	P <sub>e</sub> (%) : <b>10.94</b>

Masa suelo húmedo + molde	gr	3680.2	3797.0	3916.6	3972.4	3906.2
Masa del molde	gr	1938.0	1938.0	1938.0	1938.0	1938.0
Peso suelo húmedo compactado	gr	1742.2	1859.0	1978.6	2034.4	1968.2
Volumen del molde	cm <sup>3</sup>	937.9	937.9	937.9	937.9	937.9
Densidad húmeda compactada	gr/cm <sup>3</sup>	1.858	1.982	2.110	2.169	2.099
Cálculo Contenido de Humedad						
Masa del suelo húmedo+ recip.	gr	215.40	188.90	207.14	163.41	152.81
Masa del suelo seco + recipiente	gr	206.94	178.53	190.58	150.01	137.94
Masa del recipiente	gr	40.18	39.93	21.23	38.78	36.96
Masa del agua	gr	8.46	10.37	16.56	13.40	14.87
Masa del suelo seco	gr	166.76	138.60	169.35	111.23	100.98
Contenido de Humedad	%	5.07	7.48	9.78	12.05	14.73
Densidad seca compactada	gr/cm <sup>3</sup>	1.77	1.84	1.92	1.94	1.83

Densidad Seca Compactada Máxima (gr/cm <sup>3</sup> ) $\gamma_d$	1.94
Peso Unitario Seco Compactado (kN/m <sup>3</sup> ) $\gamma_d$	19.0
Humedad óptima (%)	11.50



Observaciones:

Laboratorio: Prolongación Caraz N° 1019 - Huaraz

Jr. Ramón Castilla N° 939 - Huaraz - Teléfono (043) 422315 Celular 944-931238 - E-mail: emv.laboratorio@gmail.com

**Ing. Elio Alejandro Milla Vergara**  
 INGENIERO CIVIL  
 REG. CIP N° 42832



**EMV LABORATORIOS Y CONSTRUCCIÓN E.I.R.L.**  
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, ENSAYO DE MATERIALES, CONCRETO Y PAVIMENTOS  
 LABORATORIO QUÍMICO DE SUELOS Y AGUAS  
 OBRAS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA

**CBR (Relación de soporte de California) DE SUELOS EN EL LABORATORIO**  
 (MTC E 132)

Tesis	: Estabilización del suelo de la subrasante usando el relave minero de Ticapampa en la carretera EMP PE 3N (Catac) - Tunel Kahuish - Chavin de Huantar - San Marcos	Fecha de Ensayo	: 14/01/2019
	: EMP. PE - 14A (Succha), Ancash		
Tesista	: BIC. Jesús Miguel Romero Flores	Muestreado por	: Interesado
Lugar	: Recuay - Ancash	Técnico	: Y.D.T

DATOS DE LA MUESTRA			
Calicata	: C-01	Progresiva	: 62+440
Muestra	: mab-01	Clasif. (SUCS)	: SP
Material	: Sub-rasante	Clasif. (AASHTO)	: A-2-6(0)

PREPARACIÓN DEL ESPECIMEN (COMPACTACION)						
Compactación	: Modificado	Método	: A			
Molde Nº		1	2	3		
Capas Nº		5	5	5		
Golpes por capa Nº		55	26	12		
Condición de la muestra		NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO
Peso de molde + Suelo húmedo (g)		12640.1	12709.8	12477.8	12559.5	12372.9
Peso de molde (g)		7929.8	7929.8	7994.1	7994.1	8042.9
Peso del suelo húmedo (g)		4710.3	4780.0	4483.7	4565.4	4330.0
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )		2134.3	2134.3	2123.1	2123.1	2125.7
Peso Unitario húmedo (g/cm <sup>3</sup> )		2.21	2.24	2.11	2.15	2.04
		Contenido de Humedad				
Peso suelo húmedo + recipiente (g)		139.68	143.15	162.72	151.08	152.72
Peso suelo seco + recipiente (g)		127.09	129.92	147.33	136.21	138.27
Peso del recipiente (g)		36.96	35.58	40.25	38.40	38.78
Peso de agua (g)		12.59	13.23	15.39	14.87	14.45
Peso de suelo seco (g)		90.13	94.34	107.08	97.81	99.49
Contenido de humedad (%)		13.97	14.02	14.37	15.20	14.52
Peso Unitario seco (g/cm <sup>3</sup> )		1.94	1.96	1.85	1.87	1.78
Datos del Ensayo Proctor Modificado		Peso Unitario Seco = 1.941 gr/cm <sup>3</sup>		C.H.O. = 11.50 %		

INMERSIÓN											
Sobrecarga de saturación = 4.54 Kg											
FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
				mm	%		mm	%		mm	%
14/01/2019	12:40	0	0.006	0.000	0.0	0.000	0.000	0.0	0.000	0.000	0.0
15/01/2019	12:40	24	0.051	1.125	0.9	0.016	0.400	0.3	0.029	0.725	0.6
16/01/2019	12:05	48	0.051	1.125	0.9	0.019	0.475	0.4	0.031	0.775	0.6
17/01/2019	11:50	72	0.051	1.125	0.9	0.024	0.600	0.5	0.034	0.850	0.7
18/01/2019	11:40	96	0.051	1.125	0.9	0.026	0.650	0.5	0.035	0.875	0.7

PENETRACION													
Sobrecarga de penetración = 4.54 Kg													
PENETRACION mm	CARGA STAND. kg/cm <sup>2</sup>	MOLDE Nº				MOLDE Nº				MOLDE Nº			
		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION	
		Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%
0.000		0	0			0	0			0	0		
0.625		9	63.2			6	52.5			5	48.9		
1.250		19	99.0			16	88.2			12	73.9		
1.875		24	116.8			24	116.8			18	95.4		
2.540	70.31	28	131.2	131.7	9.5	27	127.6	126.9	9.2	21	106.1	105.7	7.7
5.080	105.46	34	152.6	170.0	8.2	33	149.0	166.0	8.0	26	124.0	136.8	6.6
7.500		39	170.5			38	166.9			29	134.7		
10.000		41	177.7			40	174.1			30	138.3		
12.500		45	192.0			44	188.4			32	145.5		

  
 COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERU  
 Ing. Alejandro Milla Vergara  
 INGENIERO CIVIL  
 REG. C.I.P. N° 42832

Laboratorio: Prolongación Caraz Nº 1019 - Huaraz  
 Jr. Ramón Castilla Nº 939 - Huaraz - Teléfono (043) 422315 Celular 944-931238 - E-mail: emv.laboratorio@gmail.com



## EMV LABORATORIOS Y CONSTRUCCIÓN E.I.R.L.

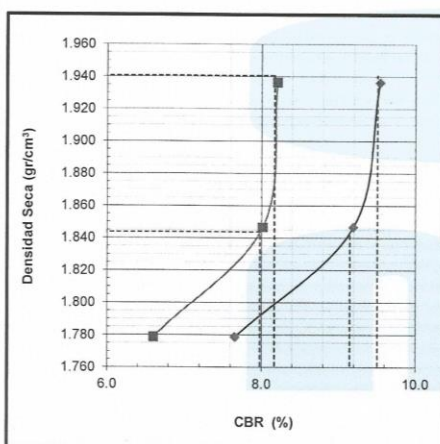
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, ENSAYO DE MATERIALES, CONCRETO Y PAVIMENTOS  
LABORATORIO QUÍMICO DE SUELOS Y AGUAS  
OBRAS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA

### CBR (Relación de soporte de California) DE SUELOS EN EL LABORATORIO (MTC E 132)

Tesis : Estabilización del suelo de la subrasante usando el relave minero de Ticapampa en la carretera EMP PE 3N (Catac) - Tunel Kahuish - Chavin de Huantar - San Marcos Fecha : 18/01/2019  
EMP. PE - 14A (Succha), Ancash  
Tesisista : BIC. Jesús Miguel Romero Flores Muestreado por : Interesado  
Lugar : Recuay - Ancash Técnico : Y.D.T

#### DATOS DE LA MUESTRA

Calicata : C-01	Progresiva : 62+440	
Muestra : mab-01	Clasif. (SUCS) : SP	
Material : Sub-rasante	Clasif. (AASHTO) : A-2-6(0)	

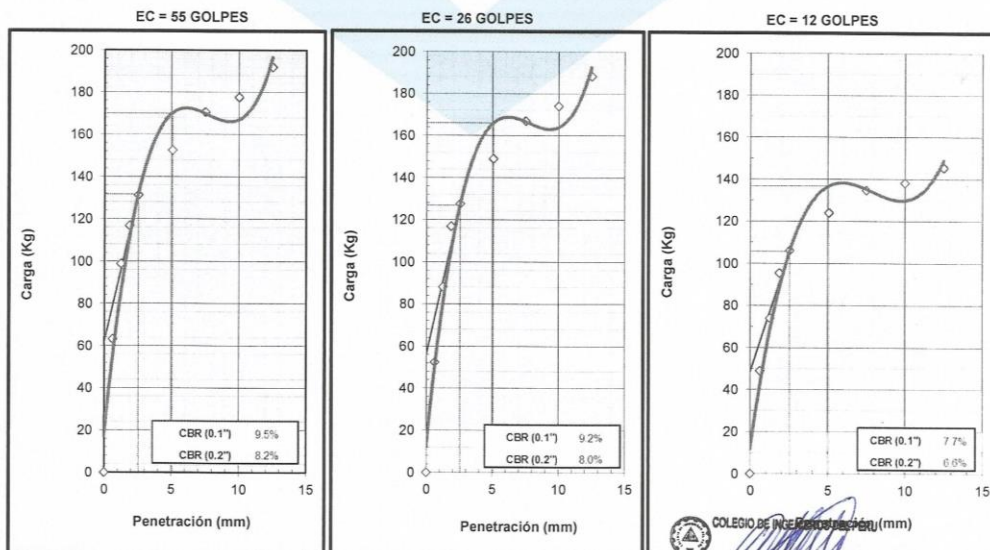


METODO DE COMPACTACION : ASTM D1557  
MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm3) : 1.94  
OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%) : 11.50  
95% MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm3) : 1.84

C.B.R. al 100% de M.D.S. (%)	0.1": 9.5	0.2": 8.2
C.B.R. al 95% de M.D.S. (%)	0.1": 9.1	0.2": 8.0

**RESULTADOS:**  
Valor de C.B.R. al 100% de la M.D.S. = 8.2 (%)  
Valor de C.B.R. al 95% de la M.D.S. = 8.0 (%)

**OBSERVACIONES:**



Laboratorio: Prolongación Caraz Nº 1019 - Huaraz

Jr. Ramón Castilla Nº 939 - Huaraz - Teléfono (043) 422315 Celular 944-931238 - E-mail: emv.laboratorio@gmail.com

Ing. Elio Alejandro Milla Vergara  
INGENIERO CIVIL  
REG. CIP Nº 42832

**B.3. CALICATA N°1 – SUELO DE LA SUBRASANTE + 5% DEL RELAVE MINERO DE TICAPAMPA**



**EMV LABORATORIOS Y CONSTRUCCIÓN E.I.R.L.**

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, ENSAYO DE MATERIALES, CONCRETO Y PAVIMENTOS  
LABORATORIO QUÍMICO DE SUELOS Y AGUAS  
OBRAS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA

**HOJA RESUMEN - ENSAYOS ESTANDAR - CLASIFICACIÓN SUCS Y AASTHO (MTC ANEXO 1)**

Tesis	: Estabilización del suelo de la subrasante usando el relave minero de Ticapampa en la carretera EMP PE 3N (Catac) - Tunel Kahuish - Chavin de Huantar - San Marcos EMP. PE - 14A (Succha), Ancash	Fecha : 30-11-18
Tesista	: BIC. Jesús Miguel Romero Flores	Muestreado por : Interesado
Lugar	: Recuay - Ancash	Técnico : Y.D.T

DATOS DE LA MUESTRA	Progresiva	62+440
	Cantera	--
	Calicata	C-1+5%Relave
	Profundidad	--
Porcentaje de material que pasa la malla de porción de material < 3"	3"	100.00
	2"	100.00
	1 1/2"	100.00
	1"	100.00
	3/4"	99.72
	3/8"	93.96
	# 4	89.60
	# 10	84.72
	# 20	80.69
	# 40	74.76
	# 60	68.78
	# 140	42.11
# 200	34.44	
Coef. de Uniformidad Cu		--
Coef. de Curvatura Cc		--
Porcentaje de Material	Grava	10.40
	Arena	55.17
	Finos	34.44
Mitad de Fracción Gruesa		32.78
Limites de Consistencia	L.L.	30.00
	L.P.	12.00
	I.P.	18.00
Humedad Natural (%)		15.98
Indice de Grupo	IG - LL	-0.08
	IG - IP	1.56
	Indice de Grupo	1
Clasificación AASTHO		A-2-6(1)
Clasificación SUCS		SC
Descripción		Arena arcillosa

COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERU  
Ing. Elio Alejandro Milla Vergara  
INGENIERO CIVIL  
REG. CIP N° 42832

Laboratorio: Prolongación Caraz N° 1019 - Huaraz

Jr. Ramón Castilla N° 939 - Huaraz - Teléfono (043) 422315 Celular 944-931238 - E-mail: emv.laboratorio@gmail.com





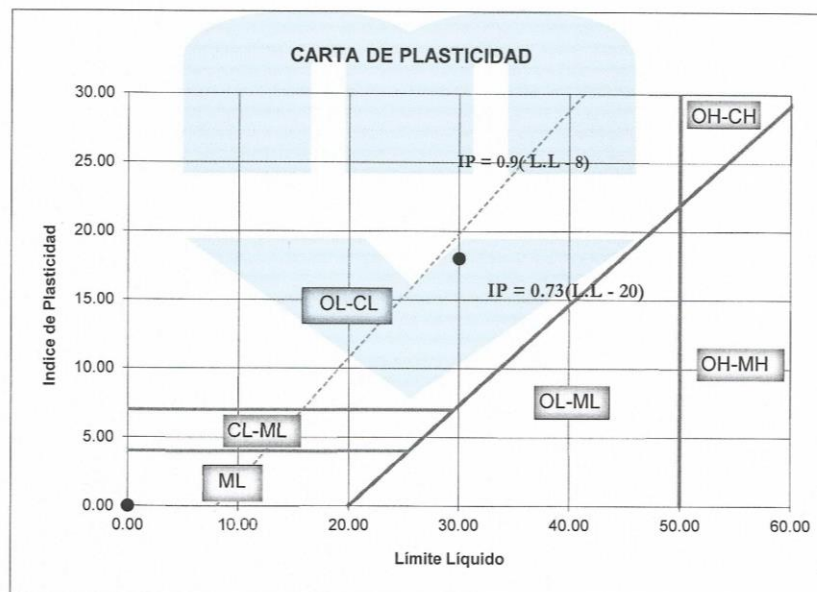
## EMV LABORATORIOS Y CONSTRUCCIÓN E.I.R.L.

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, ENSAYO DE MATERIALES, CONCRETO Y PAVIMENTOS  
LABORATORIO QUÍMICO DE SUELOS Y AGUAS  
OBRAS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA

### HOJA RESUMEN - ENSAYOS ESTANDAR - CLASIFICACIÓN SUCS Y AASHTO (MTC ANEXO 1)

#### UBICACIÓN DE PUNTOS EN LA CARTA DE PLASTICIDAD

Proyecto	: Estabilización del suelo de la subrasante usando el relave minero de Ticapampa en la carretera EMP PE 3N (Catac) - Tunel Kahuish - Chavin de Huantar - San Marcos EMP. PE - 14A (Succha), Ancash		
Solicita	: BIC. Jesús Miguel Romero Flores	Fecha	: 30-11-18
Lugar	: Recuay - Ancash	Muestreado por	: Interesado
		Técnico	: Y.D.T
DATOS DE LA MUESTRA			
Cantera	: --	Progresiva	: 62+440
Calicata	: C-1+5%Relave	Muestra	: mab-01
		Material	: Sub-rasante Es
		Profundidad	: --



COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERU  
Ing. Elio Alejandro Millia Vergara  
INGENIERO CIVIL  
REG. C.I.P. N° 42832

Laboratorio: Prolongación Caraz N° 1019 - Huaraz  
Jr. Ramón Castilla N° 939 - Huaraz - Teléfono (043) 422315 Celular 944-931238 - E-mail: emv.laboratorio@gmail.com



## EMV LABORATORIOS Y CONSTRUCCIÓN E.I.R.L.

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, ENSAYO DE MATERIALES, CONCRETO Y PAVIMENTOS  
LABORATORIO QUÍMICO DE SUELOS Y AGUAS  
OBRAS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA

### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO

(MTC E 107)

Tesis : Estabilización del suelo de la subrasante usando el relave minero de Ticapampa en la carretera EMP PE 3N (Catac) - Tunel Kahuish - Chavin de Huantar - San Marcos EMP. PE - 14A (Succha), Ancash

Tesista : BIC. Jesús Miguel Romero Flores

Lugar : Recuay - Ancash

Fecha : 23-02-19  
Muestreado por : Interesado  
Técnico : Y.D.T

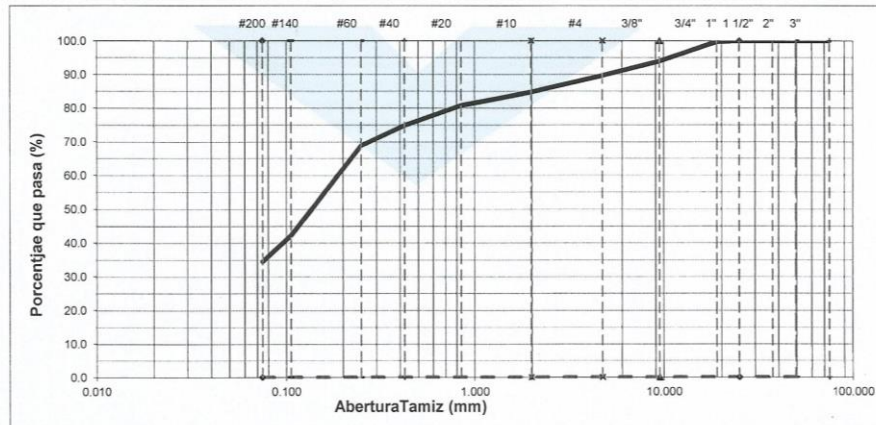
#### DATOS DE LA MUESTRA

Cantera : -- Progresiva : 62+440 Material : Sub-rasante Estab.  
Calicata : C-1+5%Relave Muestra : mab-01 Tamaño Máximo: 3/4"

#### DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA

Masa Inicial Seca (gr) = 4210.52 Porción de masa que pasa tamiz N° 10 (gr) = 338.2  
Masa Lavada y Seca (gr) = 2760.46 Masa de Material Grueso (gr) = 643.48  
Masa Retenido 3"(gr) = 0.00 % que pasa N° 200 = 34.44

Abertura de Tamices		RETENIDO EN CADA TAMIZ		PORCENTAJE ACUMULADO	
ASTM	mm	Masa (gr)	%	Retenido	Que pasa
3"	75.000	0.00	0.00	0.0	100.0
2"	50.000	0.00	0.00	0.0	100.0
1 1/2"	37.500	0.00	0.00	0.0	100.0
1"	25.000	0.00	0.00	0.0	100.0
3/4"	19.000	11.60	0.28	0.3	99.7
3/8"	9.500	242.60	5.76	6.0	94.0
# 4	4.750	183.50	4.36	10.4	89.6
# 10	2.000	205.78	4.89	15.3	84.7
# 20	0.850	16.09	4.03	19.3	80.7
# 40	0.425	23.67	5.93	25.2	74.8
# 60	0.250	23.87	5.98	31.2	68.8
# 140	0.106	106.48	26.67	57.9	42.1
# 200	0.075	30.63	7.67	65.6	34.4
< 200	Fondo	137.50	34.44	100.0	0.0



% GRAVA	10.40	% Gruesa :	0.28	D60 (mm) =	0.203
		% Fina :	10.12	D30 (mm) =	--
% ARENA	55.17	% Gruesa :	4.89	D10 (mm) =	--
		% Media :	9.96	Coef. Unif. (Cu) =	--
		% Fina :	40.32	Coef. Conc. (Cc) =	--
% FINOS	34.44				

**Ing. Elio Alejandro Milla Vergara**  
 INGENIERO CIVIL  
 REG. CIP N° 42832

Laboratorio: Prolongación Caraz N° 1019 - Huaraz

Jr. Ramón Castilla N° 939 - Huaraz - Teléfono (043) 422315 Celular 944-931238 - E-mail: emv.laboratorio@gmail.com



## EMV LABORATORIOS Y CONSTRUCCIÓN E.I.R.L.

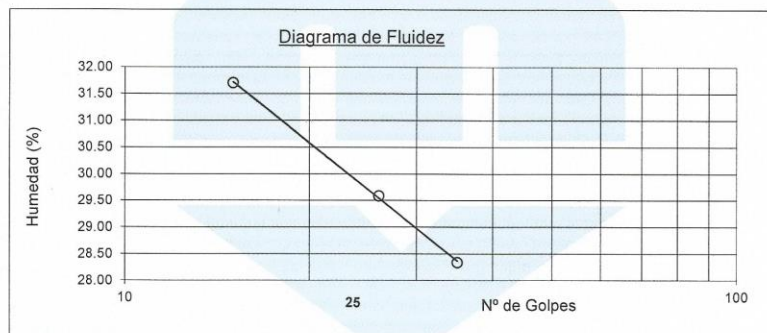
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, ENSAYO DE MATERIALES, CONCRETO Y PAVIMENTOS  
LABORATORIO QUÍMICO DE SUELOS Y AGUAS  
OBRAS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA

### LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO DE LOS SUELOS E INDICE DE PLASTICIDAD (MTC E 110 y MTC E 111)

Tesis	: Estabilización del suelo de la subrasante usando el relave minero de Ticapampa en la carretera EMP PE 3N (Catac) - Tunel Kahuish - Chavin de Huantar - San Marcos EMP. PE - 14A (Succha), Ancash		
Tesista	: BIC. Jesús Miguel Romero Flores	Fecha	: 30-11-18
Lugar	: Recuay - Ancash	Muestreado por	: Interesado
Técnico : Y.D.T			
DATOS DE LA MUESTRA			
Cantera	: -.-	Progresiva	: 62+440
Calicata	: C-1+5%Relave	Muestra	: mab-01
		Material	: Sub-rasante Estab.
		Profundidad	: -.-

#### DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO

N° de golpes	15	26	35
P.Suelo Húmedo+Rec.	31.94	49.34	32.95
P.Suelo Seco+Rec.	28.25	46.08	29.32
Peso del Recipiente	16.61	35.06	16.51
Peso Suelo Seco	11.64	11.02	12.81
Peso del Agua	3.69	3.26	3.63
C. de Humedad %	31.70	29.58	28.34



#### DETERMINACION DEL LIMITE PLASTICO

P.Suelo Húmedo+Rec.	25.66	25.38
P.Suelo Seco+Rec.	24.55	24.30
Peso del Recipiente	15.08	15.18
Peso Suelo Seco	9.47	9.12
Peso del Agua	1.11	1.08
C. de Humedad %	11.72	11.84

Limite Líquido = 30.0

Limite Plástico = 12.0

Indice Plasticidad = 18.0


 COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERU  
 Ing. Elio Alejandro Milla Vergara  
 INGENIERO CIVIL  
 REG. CIP N° 42832

Laboratorio: Prolongación Caraz N° 1019 - Huaraz

Jr. Ramón Castilla N° 939 - Huaraz - Teléfono (043) 422315 Celular 944-931238 - E-mail: emv.laboratorio@gmail.com



## EMV LABORATORIOS Y CONSTRUCCIÓN E.I.R.L.

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, ENSAYO DE MATERIALES, CONCRETO Y PAVIMENTOS  
LABORATORIO QUÍMICO DE SUELOS Y AGUAS  
OBRAS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA

### GRAVEDAD ESPECIFICA (MTC E 206)

Tesis	: Estabilización del suelo de la subrasante usando el relave minero de Ticapampa en la carretera EMP PE 3N (Catac) - Tunel Kahuish - Chavin de Huanter - San Marcos EMP. PE - 14A (Succha), Ancash		
Tesista	: BIC. Jesús Miguel Romero Flores	Fecha	: 09-02-19
Lugar	: Recuay - Ancash	Muestreado por	: Interesado
		Tecnico	: Y.D.T
DATOS DE LA MUESTRA			
Cantera	: --	Progresiva	: 62+440
Calicata	: C-1+5%Relave	Muestra	: mab-01
Material	: Sub-rasante Estab.	Profundidad	: --

Agregado		GRUESO	GRUESO
Tamaño máximo de la muestra		3/4"	3/4"
Tipo de frasco utilizado		Cesta	Cesta
Masa del frasco dentro del agua (gr)	(A)	1000.80	1000.80
Masa de la muestra saturada superficialmente seca (gr)	(B)	472.60	359.90
Masa de la muestra saturada dentro del agua + frasco (gr)	(C)	1294.60	1224.60
Masa de la muestra seca (gr)	(D)	463.00	351.60
Masa de la muestra saturada dentro del agua (gr)	(E)	293.80	223.80
Gravedad Específica B/(B-E)		2.64	2.64
<b>Gravedad Específica Promedio</b>		<b>2.64</b>	
Gravedad Específica Aparente, $G_a = D/(D - C)$		2.74	2.75
Densidad Aparente, $D_a = 0.9975D/(D-E)$		2.73	2.74
<b>Densidad Aparente Promedio, <math>D_a</math></b>		<b>2.74</b>	

Observación:

COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERU  
Ing. Elio Alejandro Milla Vergara  
INGENIERO CIVIL  
REG. CIP N° 42832

Laboratorio: Prolongación Caraz N° 1019 - Huaraz  
Jr. Ramón Castilla N° 939 - Huaraz - Teléfono (043) 422315 Celular 944-931238 - E-mail: emv.laboratorio@gmail.com



## EMV LABORATORIOS Y CONSTRUCCIÓN E.I.R.L.

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, ENSAYO DE MATERIALES, CONCRETO Y PAVIMENTOS  
LABORATORIO QUÍMICO DE SUELOS Y AGUAS  
OBRAS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA

### COMPACTACION DE SUELOS EN LABORATORIO UTILIZANDO UNA ENERGIA MODIFICADA (PROCTOR MODIFICADO) (MTC E115)

Tesis	: Estabilización del suelo de la subrasante usando el relave minero de Ticapampa en la carretera EMP PE 3N (Catac) - Tunel Kahuish - Chavin de Huantar - San Marcos	Fecha : 23-02-19
Tesista	: BIC. Jesús Miguel Romero Flores	Muestreado por : Interesado
Lugar	: Recuay - Ancash	Técnico : Y.D.T

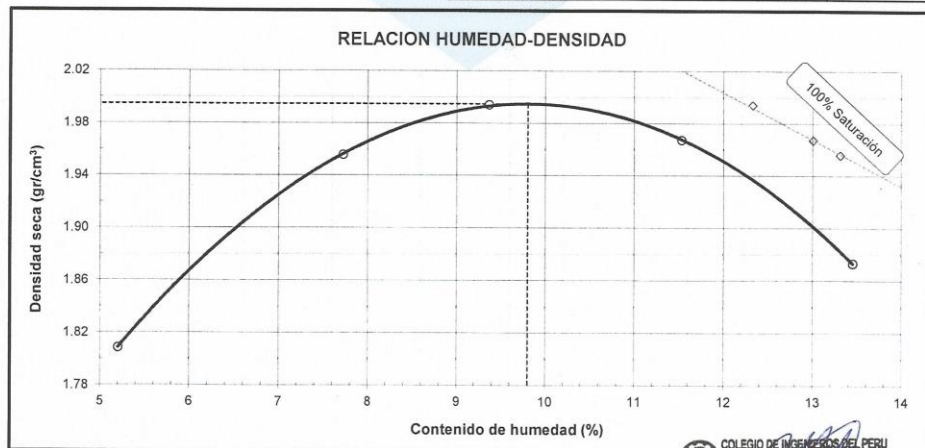
#### DATOS DE LA MUESTRA

Cantera	: --	Muestra	: mab-01	Progresiva	: 62+440
Calicata	: C-1+5%Relave			Clasif. (SUCS)	: SC
Material	: Sub-rasante Estab.			Clasif. (AASHTO)	: A-2-6(1)

PROCEDIMIENTO DE COMPACTACION:	A	Método de Preparación :	Húmedo	Molde N° :	04
Pisón:	Manual	Gravedad Especifica (Gs) :	2.64	Tamiz N° :	# 4
Golpes por capa:	25	Capas :	Cinco	P <sub>c</sub> (%) :	10.40

Masa suelo húmedo + molde	gr	3722.4	3913.7	3983.2	3995.8	3931.2
Masa del molde	gr	1938.0	1938.0	1938.0	1938.0	1938.0
Peso suelo húmedo compactado	gr	1784.4	1975.7	2045.2	2057.8	1993.2
Volumen del molde	cm <sup>3</sup>	937.9	937.9	937.9	937.9	937.9
Densidad húmeda compactada	gr/cm <sup>3</sup>	1.903	2.107	2.181	2.194	2.125
Cálculo Contenido de Humedad						
Masa del suelo húmedo+ recip.	gr	194.36	204.12	186.34	176.32	163.14
Masa del suelo seco + recipiente	gr	186.64	192.23	173.56	162.24	148.47
Masa del recipiente	gr	38.21	38.21	37.12	40.12	39.41
Masa del agua	gr	7.72	11.89	12.78	14.08	14.67
Masa del suelo seco	gr	148.43	154.02	136.44	122.12	109.06
Contenido de Humedad	%	5.20	7.72	9.37	11.53	13.45
Densidad seca compactada	gr/cm <sup>3</sup>	1.81	1.96	1.99	1.97	1.87

Densidad Seca Compactada Máxima (gr/cm <sup>3</sup> ) γ <sub>d</sub>	1.99
Peso Unitario Seco Compactado (kN/m <sup>3</sup> ) γ <sub>d</sub>	19.6
Humedad óptima (%)	9.80



Observaciones:

**Ing. Elio Alejandro Milla Vergara**  
 INGENIERO CIVIL  
 REG. CIP N° 42832

Laboratorio: Prolongación Caraz N° 1019 - Huaraz

Jr. Ramón Castilla N° 939 - Huaraz - Teléfono (043) 422315 Celular 944-931238 - E-mail: emv.laboratorio@gmail.com



## EMV LABORATORIOS Y CONSTRUCCIÓN E.I.R.L.

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, ENSAYO DE MATERIALES, CONCRETO Y PAVIMENTOS  
LABORATORIO QUÍMICO DE SUELOS Y AGUAS  
OBRAS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA

### CBR (Relación de soporte de California) DE SUELOS EN EL LABORATORIO (MTC E 132)

Tesis	: Estabilización del suelo de la subrasante usando el relave minero de Ticapampa en la carretera EMP PE 3N (Catac) - Tunel Kahuish - Chavin de Huantar - San Marcos	Fecha de Ensayo	: 26/01/2019
Tesista	: BIC. Jesús Miguel Romero Flores	Muestreado por	: Interesado
Lugar	: Recuay - Ancash	Técnico	: Y.D.T

DATOS DE LA MUESTRA			
Calicata	: C-1+5%Relave	Progresiva	: 62+440
Muestra	: mab-01	Clasif. (SUCS)	: SC
Material	: Sub-rasante Estab.	Clasif. (AASHTO)	: A-2-6(1)

#### PREPARACIÓN DEL ESPECIMEN (COMPACTACION)

Compactación	: Modificado	Método	: A
Molde N°	1	2	3
Capas N°	5	5	5
Golpes por capa N°	55	26	12
Condición de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO
Peso de molde + Suelo húmedo (g)	12599.9	12608.0	12478.2
Peso de molde (g)	7929.8	7929.8	7994.1
Peso del suelo húmedo (g)	4670.1	4678.2	4484.1
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2134.3	2134.3	2123.1
Peso Unitario húmedo (g/cm <sup>3</sup> )	2.19	2.19	2.11
Contenido de Humedad			
Peso suelo húmedo + recipiente (g)	154.23	255.75	142.52
Peso suelo seco + recipiente (g)	143.65	231.83	133.34
Peso del recipiente (g)	35.58	24.57	40.25
Peso de agua (g)	10.58	23.92	9.18
Peso de suelo seco (g)	108.07	207.26	93.09
Contenido de humedad (%)	9.79	11.54	9.86
Peso Unitario seco (g/cm <sup>3</sup> )	1.99	1.97	1.92

Datos del Ensayo Proctor Modificado      Peso Unitario Seco = 1.995 gr/cm<sup>3</sup>      C.H.O. = 9.80 %

#### INMERSION

Sobrecarga de saturación =		4.54 Kg									
FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
				mm	%		mm	%		mm	%
26/01/2019	12:40	0	0.000	0.000	0.0	0.000	0.000	0.0	0.000	0.000	0.0
27/01/2019	12:40	24	0.002	0.050	0.0	0.010	0.250	0.2	0.015	0.375	0.3
28/01/2019	12:05	48	0.010	0.250	0.2	0.018	0.450	0.4	0.017	0.425	0.3
29/01/2019	11:50	72	0.012	0.300	0.2	0.019	0.475	0.4	0.019	0.475	0.4
30/01/2019	11:40	96	0.013	0.325	0.3	0.019	0.475	0.4	0.020	0.500	0.4

#### PENETRACION

Sobrecarga de penetración =		4.54 Kg											
PENETRACION mm	CARGA STAND. kg/cm <sup>2</sup>	MOLDE N°				MOLDE N°				MOLDE N°			
		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION	
		Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%
0.000		0	0			0	0			0	0		
0.625		11	68.5			9	63.2			9	63.2		
1.250		20	100.7			18	95.4			17	90.0		
1.875		30	138.3			27	127.6			26	122.2		
2.540	70.31	38	165.1	157.6	11.4	35	154.4	147.9	10.7	26	122.2	132.2	9.6
5.080	105.46	47	197.3	215.8	10.4	44	186.6	204.7	9.9	41	175.9	189.0	9.1
7.500		54	224.2			53	218.8			51	213.4		
10.000		60	245.6			56	229.5			54	224.2		
12.500		63	256.4			59	240.3			57	234.9		

**Ing. Elio Alejandro Millá Vergara**  
 INGENIERO CIVIL  
 REG. CIP N° 42832

Laboratorio: Prolongación Caraz N° 1019 - Huaraz  
 Jr. Ramón Castilla N° 939 - Huaraz - Teléfono (043) 422315 Celular 944-931238 - E-mail: emv.laboratorio@gmail.com



## EMV LABORATORIOS Y CONSTRUCCIÓN E.I.R.L.

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, ENSAYO DE MATERIALES, CONCRETO Y PAVIMENTOS  
LABORATORIO QUÍMICO DE SUELOS Y AGUAS  
OBRAS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA

### CBR (Relación de soporte de California) DE SUELOS EN EL LABORATORIO (MTC E 132)

Tesis : Estabilización del suelo de la subrasante usando el relave minero de Ticapampa en la carretera EMP PE 3N (Catac) - Tunel Kahuish - Chavin de Huantar - San Marcos  
EMP. PE - 14A (Succha), Ancash  
Fecha : 30/01/2019

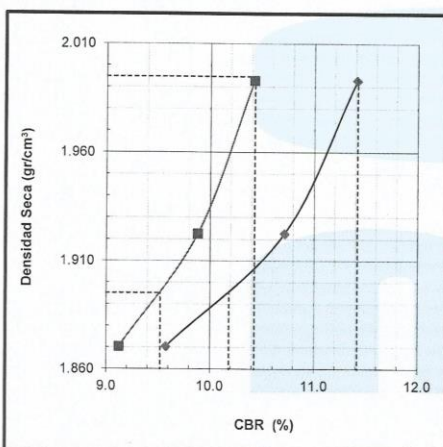
Tesista : BIC. Jesús Miguel Romero Flores  
Muestreado por : Interesado

Lugar : Recuay - Ancash  
Técnico : Y.D.T

#### DATOS DE LA MUESTRA

Calicata : C-1+5%Relave  
Muestra : mab-01  
Material : Sub-rasante Estab.

Progresiva : 62+440  
Clasif. (SUCS) : SC  
Clasif. (AASHTO) : A-2-6(1)



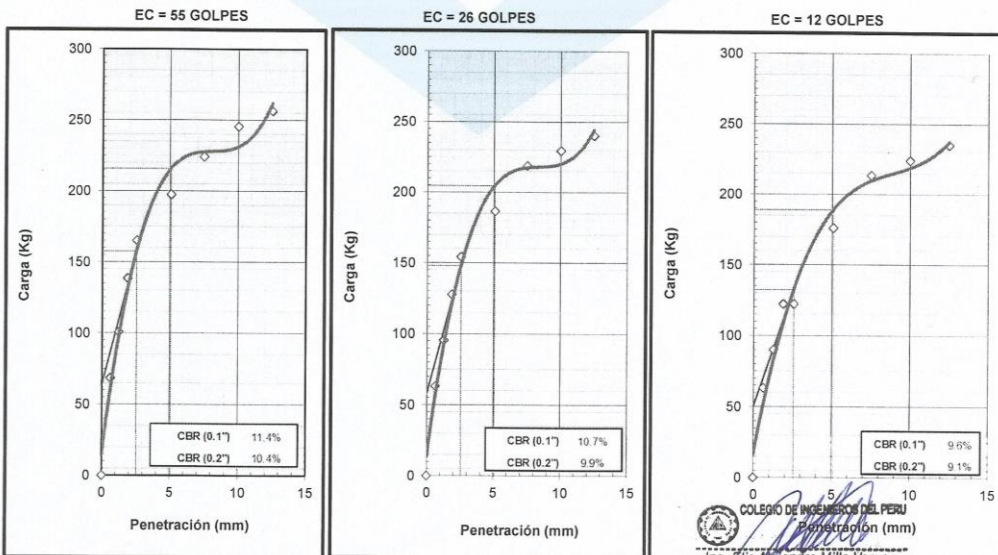
METODO DE COMPACTACION : ASTM D1557  
MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm3) : 1.99  
OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%) : 9.80  
95% MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm3) : 1.90

C.B.R. al 100% de M.D.S. (%)	0.1": 11.4	0.2": 10.4
C.B.R. al 95% de M.D.S. (%)	0.1": 10.2	0.2": 9.5

#### RESULTADOS:

Valor de C.B.R. al 100% de la M.D.S. = 10.4 (%)  
Valor de C.B.R. al 95% de la M.D.S. = 9.5 (%)

#### OBSERVACIONES:



Laboratorio: Prolongación Caraz Nº 1019 - Huaraz

Jr. Ramón Castilla Nº 939 - Huaraz - Teléfono (043) 422315 Celular 944-931238 - E-mail: emv.laboratorio@gmail.com

COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERU  
 Ing. Elio Alejandro Milla Vergara  
 INGENIERO CIVIL  
 REG. CIP. N° 42832

**B.4. CALICATA N°1 – SUELO DE LA SUBRASANTE + 10% DEL RELAVE MINERO DE TICAPAMPA.**



**EMV LABORATORIOS Y CONSTRUCCIÓN E.I.R.L.**  
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, ENSAYO DE MATERIALES, CONCRETO Y PAVIMENTOS  
 LABORATORIO QUÍMICO DE SUELOS Y AGUAS  
 OBRAS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA

**HOJA RESUMEN - ENSAYOS ESTANDAR - CLASIFICACIÓN SUCS Y AASHTO**  
 (MTC ANEXO 1)

Tesis : Estabilización del suelo de la subrasante usando el relave minero de Ticapampa en la carretera EMP PE 3N (Catac) - Tunel Kahuish - Chavin de Huantar - San Marcos EMP. PE - 14A (Succha), Ancash  
 Tesista : BIC. Jesús Miguel Romero Flores  
 Lugar : Recuay - Ancash  
 Fecha : 30-11-18  
 Muestreado por : Interesado  
 Técnico : Y.D.T

DATOS DE LA MUESTRA	Progresiva	62+440				
	Cantera	--				
	Calicata	C-01+10%Relave				
	Profundidad	--				
Porcentaje de material que pasa la malla de porción de material < 3"	3"	100.00				
	2"	100.00				
	1 1/2"	100.00				
	1"	100.00				
	3/4"	99.74				
	3/8"	94.28				
	# 4	90.15				
	# 10	85.51				
	# 20	82.96				
	# 40	79.02				
# 60	74.53					
# 140	50.18					
# 200	43.02					
Coef. de Uniformidad Cu		--				
Coef. de Curvatura Cc		--				
Porcentaje de Material	Grava	9.85				
	Arena	47.14				
	Finos	43.02				
Mitad de Fracción Gruesa		28.49				
Limites de Consistencia	L.L.	32.00				
	L.P.	15.00				
	I.P.	17.00				
Humedad Natural (%)		15.98				
Indice de Grupo	IG - LL	1.28				
	IG - IP	1.96				
	Indice de Grupo	3				
Clasificación AASTHO		A-6(3)				
Clasificación SUCS		SC				
Descripción		Arena arcillosa				

COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERU  
 Ing. Elio Alejandro Milla Vergara  
 INGENIERO CIVIL  
 REG. CIP N° 42632

Laboratorio: Prolongación Caraz N° 1019 - Huaraz

Jr. Ramón Castilla N° 939 - Huaraz - Teléfono (043) 422315 Celular 944-931238 - E-mail: emv.laboratorio@gmail.com





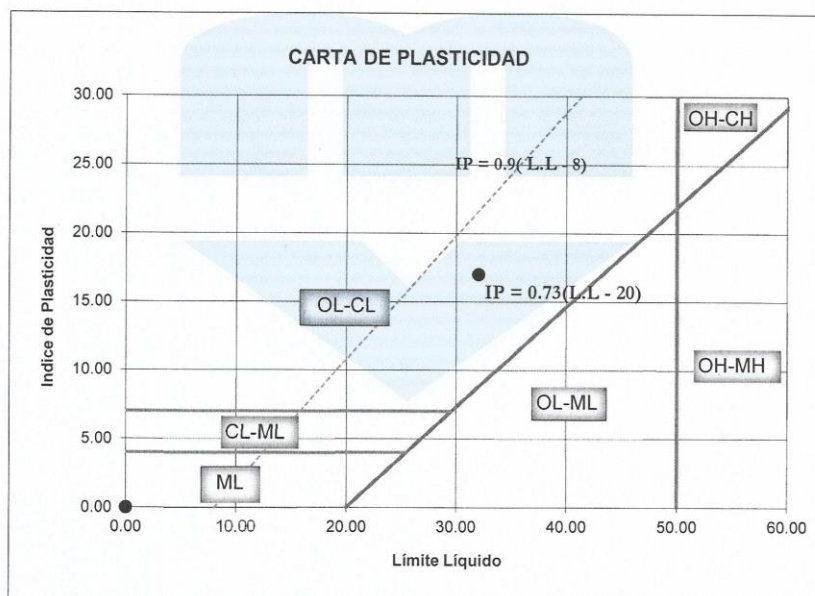
## EMV LABORATORIOS Y CONSTRUCCIÓN E.I.R.L.

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, ENSAYO DE MATERIALES, CONCRETO Y PAVIMENTOS  
LABORATORIO QUÍMICO DE SUELOS Y AGUAS  
OBRAS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA

### HOJA RESUMEN - ENSAYOS ESTANDAR - CLASIFICACIÓN SUCS Y AASHTO (MTC ANEXO 1)

#### UBICACIÓN DE PUNTOS EN LA CARTA DE PLASTICIDAD

Proyecto	: Estabilización del suelo de la subrasante usando el relave minero de Ticapampa en la carretera EMP PE 3N (Catac) - Tunel Kahuish - Chavin de Huantar - San Marcos EMP. PE - 14A (Succha), Ancash		
Solicita	: BIC. Jesús Miguel Romero Flores	Fecha	: 30-11-18
Lugar	: Recuay - Ancash	Muestreado por	: Interesado
		Técnico	: Y.D.T
DATOS DE LA MUESTRA			
Cantera	: -	Progresiva	: 62+440
Calicata	: C-01+10%Relave	Muestra	: mab-01
		Material	: Sub-rasante Es
		Profundidad	: -



COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERU  
Ing. Elio Ejeandro Milla Vergara  
INGENIERO CIVIL  
REG. CIP N° 42832

Laboratorio: Prolongación Caraz N° 1019 - Huaraz  
Jr. Ramón Castilla N° 939 - Huaraz - Teléfono (043) 422315 Celular 944-931238 - E-mail: emv.laboratorio@gmail.com



## EMV LABORATORIOS Y CONSTRUCCIÓN E.I.R.L.

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, ENSAYO DE MATERIALES, CONCRETO Y PAVIMENTOS  
LABORATORIO QUÍMICO DE SUELOS Y AGUAS  
OBRAS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA

### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO

(MTC E 107)

Tesis : Estabilización del suelo de la subrasante usando el relave minero de Ticapampa en la carretera EMP PE 3N (Catac) - Tunel Kahuish - Chavin de Huantar - San Marcos EMP. PE - 14A (Succha), Ancash

Tesista : BIC. Jesús Miguel Romero Flores

Lugar : Recuay - Ancash

Fecha : 23-02-19  
Muestreado por : Interesado  
Técnico : Y.D.T

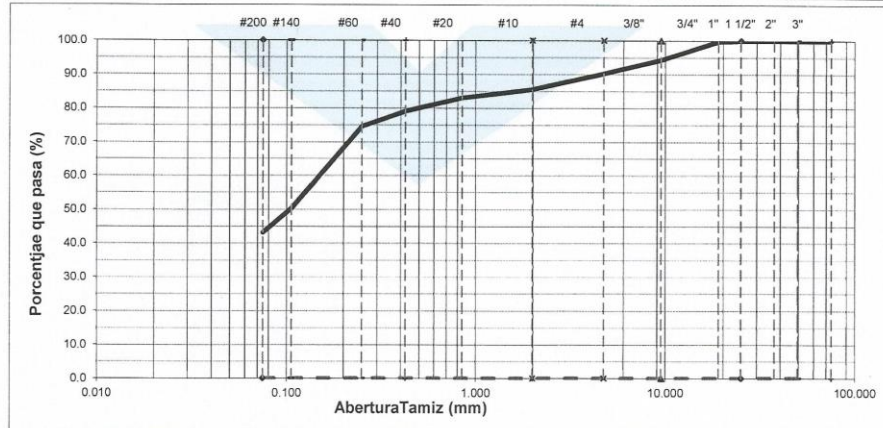
#### DÁTOS DE LA MUESTRA

Cantera : -- Progresiva : 62+440 Material : Sub-rasante Est.  
Calicata : C-01+10%Relave Muestra : mab-01 Tamaño Máximo: 3/4"

#### DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA

Masa Inicial Seca (gr) = 4444.44 Porción de masa que pasa tamiz N° 10 (gr) = 571.7  
Masa Lavada y Seca (gr) = 2532.60 Masa de Material Grueso (gr) = 643.90  
Masa Retenido 3"(gr) = 0.00 % que pasa N° 200 = 43.02

Abertura de Tamices		RETENIDO EN CADA TAMIZ		PORCENTAJE ACUMULADO		Especificación EG 2013
ASTM	mm	Masa (gr)	%	Retenido	Que pasa	
3"	75.000	0.00	0.00	0.0	100.0	
2"	50.000	0.00	0.00	0.0	100.0	
1 1/2"	37.500	0.00	0.00	0.0	100.0	
1"	25.000	0.00	0.00	0.0	100.0	
3/4"	19.000	11.60	0.26	0.3	99.7	
3/8"	9.500	242.60	5.46	5.7	94.3	
# 4	4.750	183.50	4.13	9.8	90.2	
# 10	2.000	206.20	4.64	14.5	85.5	
# 20	0.850	17.08	2.55	17.0	83.0	
# 40	0.425	26.30	3.93	21.0	79.0	
# 60	0.250	30.06	4.50	25.5	74.5	
# 140	0.106	162.80	24.35	49.8	50.2	
# 200	0.075	47.89	7.16	57.0	43.0	
< 200	Fondo	287.61	43.02	100.0	0.0	



% GRAVA	9.85	% Gruesa :	0.26	D60 (mm) =	0.164
		% Fina :	9.59	D30 (mm) =	0.000
% ARENA	47.14	% Gruesa :	4.64	D10 (mm) =	0.000
		% Media :	6.49	Coef. Unif. (Cu) =	--
		% Fina :	36.01	Coef. Conc. (Cc) =	--
% FINOS	43.02				

**Ing. Elio Alejandro Millia Vergara**  
 INGENIERO CIVIL  
 REG. CIP N° 42832

Laboratorio: Prolongación Caraz N° 1019 - Huaraz

Jr. Ramón Castilla N° 939 - Huaraz - Teléfono (043) 422315 Celular 944-931238 - E-mail: emv.laboratorio@gmail.com



## EMV LABORATORIOS Y CONSTRUCCIÓN E.I.R.L.

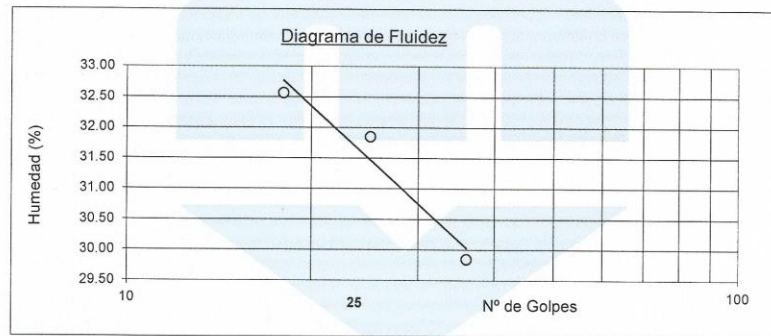
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, ENSAYO DE MATERIALES, CONCRETO Y PAVIMENTOS  
LABORATORIO QUÍMICO DE SUELOS Y AGUAS  
OBRAS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA

### LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO DE LOS SUELOS E INDICE DE PLASTICIDAD (MTC E 110 y MTC E 111)

Tesis	: Estabilización del suelo de la subrasante usando el relave minero de Ticapampa en la carretera EMP PE 3N (Catac) - Tunel Kahuish - Chavin de Huantar - San Marcos EMP. PE - 14A (Succha), Ancash		
Tesista	: BIC. Jesús Miguel Romero Flores	Fecha	: 02/03/2019
Lugar	: Recuay - Ancash	Muestreado por	: Interesado
Técnico : Y.D.T			
DATOS DE LA MUESTRA			
Cantera	: -.-	Progresiva	: 62+440
Calicata	: C-01+10%Relave	Muestra	: mab-01
		Material	: Sub-rasante Est.
		Profundidad	: -.-

#### DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO

N° de golpes	18	25	36
P.Suelo Húmedo+Rec.	31.92	33.88	32.82
P.Suelo Seco+Rec.	28.11	29.80	29.11
Peso del Recipiente	16.41	16.99	16.68
Peso Suelo Seco	11.70	12.81	12.43
Peso del Agua	3.81	4.08	3.71
C. de Humedad %	32.56	31.85	29.85



#### DETERMINACION DEL LIMITE PLASTICO

P.Suelo Húmedo+Rec.	24.39	21.55
P.Suelo Seco+Rec.	23.16	20.35
Peso del Recipiente	15.18	12.52
Peso Suelo Seco	7.98	7.83
Peso del Agua	1.23	1.20
C. de Humedad %	15.41	15.33

Limite Líquido = 32.0

Limite Plástico = 15.0

Indice Plasticidad = 17.0


**COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERU**  
 Ing. Alejandro Milla Vergara  
 INGENIERO CIVIL  
 REG. CIP N° 42832

Laboratorio: Prolongación Caraz N° 1019 - Huaraz

Jr. Ramón Castilla N° 939 - Huaraz - Teléfono (043) 422315 Celular 944-931238 - E-mail: emv.laboratorio@gmail.com



**GRAVEDAD ESPECIFICA**  
(MTC E 206)

Tesis	: Estabilización del suelo de la subrasante usando el relave minero de Ticapampa en la carretera EMP PE 3N (Catac) - Tunel Kahuish - Chavin de Huantar - San Marcos EMP. PE - 14A (Succha), Ancash		
Tesista	: BIC. Jesús Miguel Romero Flores	Fecha	: 09-02-19
Lugar	: Recuay - Ancash	Muestreado por	: Interesado
		Tecnico	: Y.D.T
<b>DATOS DE LA MUESTRA</b>			
Cantera	: --	Progresiva	: 62+440
Calicata	: C-01+10%Relave	Muestra	: mab-01
Material	: Sub-rasante Est.	Profundidad	: --

Agregado		GRUESO	GRUESO
Tamaño máximo de la muestra		3/4"	3/4"
Tipo de frasco utilizado		Cesta	Cesta
Masa del frasco dentro del agua (gr)	(A)	1000.80	1000.80
Masa de la muestra saturada superficialmente seca (gr)	(B)	472.60	359.90
Masa de la muestra saturada dentro del agua + frasco (gr)	(C)	1294.60	1224.60
Masa de la muestra seca (gr)	(D)	463.00	351.60
Masa de la muestra saturada dentro del agua (gr)	(E)	293.80	223.80
Gravedad Especifica B/(B-E)		2.64	2.64
<b>Gravedad Especifica Promedio</b>		<b>2.64</b>	
Gravedad Especifica Aparente, $Gea = D/(D - C)$		2.74	2.75
Densidad Aparente, $Da = 0.9975D/(D-E)$		2.73	2.74
<b>Densidad Aparente Promedio, Da</b>		<b>2.74</b>	

Observación:

  
COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERU  
Ing. Ello Alejandro Milla Vergara  
INGENIERO CIVIL  
REG. CIP N° 42632



## EMV LABORATORIOS Y CONSTRUCCIÓN E.I.R.L.

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, ENSAYO DE MATERIALES, CONCRETO Y PAVIMENTOS  
LABORATORIO QUÍMICO DE SUELOS Y AGUAS  
OBRAS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA

### COMPACTACION DE SUELOS EN LABORATORIO UTILIZANDO UNA ENERGIA MODIFICADA (PROCTOR MODIFICADO) (MTC E115)

Tesis	Estabilización del suelo de la subrasante usando el relave minero de Ticapampa en la carretera EMP PE 3N (Catac) - Tunel Kahuish - Chavin de Huantar - San Marcos	Fecha : 01-02-19
	EMP. PE - 14A (Succha), Ancash	
Tesista	BIC. Jesús Miguel Romero Flores	Muestreado por : Interesado
Lugar	Recuay - Ancash	Técnico : Y.D.T

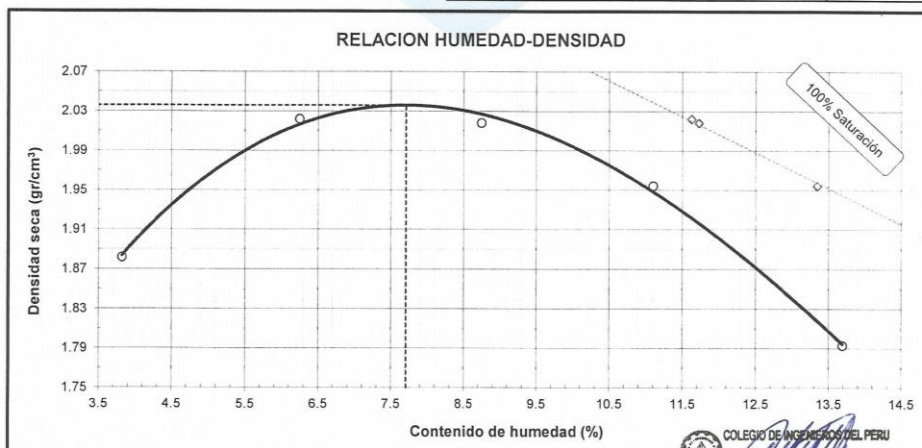
#### DATOS DE LA MUESTRA

Cantera : --	Muestra : mab-01	Progresiva : 62+440
Calicata : C-01+10%Relave		Clasif. (SUCS) : SC
Material : Sub-rasante Est.		Clasif. (AASHTO): A-6(3)

PROCEDIMIENTO DE COMPACTACION: <b>A</b>	Método de Preparación : Húmedo	Molde N° : 04
Pisón: Manual	Gravedad Especifica (Gs) : 2.64	Tamiz N° : # 4
Golpes por capa: 25	Capas : Cinco	P <sub>c</sub> (%) : 9.85

Masa suelo húmedo + molde	gr	3770.6	3952.9	3996.3	3974.2	3850.0
Masa del molde	gr	1938.0	1938.0	1938.0	1938.0	1938.0
Peso suelo húmedo compactado	gr	1832.6	2014.9	2058.3	2036.2	1912.0
Volumen del molde	cm <sup>3</sup>	937.9	937.9	937.9	937.9	937.9
Densidad húmeda compactada	gr/cm <sup>3</sup>	1.954	2.148	2.195	2.171	2.039
Cálculo Contenido de Humedad						
Masa del suelo húmedo+ recip.	gr	246.65	170.94	155.53	144.20	245.30
Masa del suelo seco + recipiente	gr	239.00	163.00	146.13	133.53	220.20
Masa del recipiente	gr	38.78	35.87	38.64	37.39	36.86
Masa del agua	gr	7.65	7.94	9.40	10.67	25.10
Masa del suelo seco	gr	200.22	127.13	107.49	96.14	183.34
Contenido de Humedad	%	3.82	6.25	8.74	11.10	13.69
Densidad seca compactada	gr/cm <sup>3</sup>	1.88	2.02	2.02	1.95	1.79

Densidad Seca Compactada Máxima (gr/cm <sup>3</sup> ) $\gamma_d$	2.04
Peso Unitario Seco Compactado (kN/m <sup>3</sup> ) $\gamma_d$	20.0
Humedad óptima (%)	7.71



Observaciones:

Laboratorio: Prolongación Caraz N° 1019 - Huaraz

Jr. Ramón Castilla N° 939 - Huaraz - Teléfono (043) 422315 Celular 944-931238 - E-mail: emv.laboratorio@gmail.com

COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERU  
 Ing. Alejandro Milla Vergara  
 INGENIERO CIVIL  
 REG. CIP N° 42832



## EMV LABORATORIOS Y CONSTRUCCIÓN E.I.R.L.

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, ENSAYO DE MATERIALES, CONCRETO Y PAVIMENTOS  
LABORATORIO QUÍMICO DE SUELOS Y AGUAS  
OBRAS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA

### CBR (Relación de soporte de California) DE SUELOS EN EL LABORATORIO (MTC E 132)

Tesis	Estabilización del suelo de la subrasante usando el relave minero de Ticapampa en la carretera EMP PE 3N (Catac) - Tunel Kahuish - Chavin de Huantar - San Marcos	Fecha de Ensayo	22/06/2018
Tesista	BIC. Jesús Miguel Romero Flores	Muestreado por	Interesado
Lugar	Recuay - Ancash	Técnico	Y.D.T

#### DATOS DE LA MUESTRA

Calicata : C-01+10%Relave	Progresiva : 62+440
Muestra : mab-01	Clasif. (SUCS) : SC
Material : Sub-rasante Est.	Clasif. (AASHTO): A-6(3)

#### PREPARACIÓN DEL ESPECIMEN (COMPACTACION)

Compactación : Modificado		Método: A					
Molde Nº	1		2		3		
Capas Nº	5		5		5		
Golpes por capa Nº	55		26		12		
Condición de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	
Peso de molde + Suelo húmedo (g)	12636.0	12725.9	12613.5	12688.6	12513.8	12695.6	
Peso de molde (g)	7929.8	7929.8	7994.1	7994.1	8042.9	8042.9	
Peso del suelo húmedo (g)	4706.2	4796.1	4619.4	4694.5	4470.9	4652.7	
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2134.3	2134.3	2123.1	2123.1	2125.7	2125.7	
Peso Unitario húmedo (g/cm <sup>3</sup> )	2.21	2.25	2.18	2.21	2.10	2.19	
Contenido de Humedad							
Peso suelo húmedo + recipiente (g)	171.90	197.32	165.64	226.34	140.96	214.69	
Peso suelo seco + recipiente (g)	157.23	176.41	151.99	202.29	129.48	187.73	
Peso del recipiente (g)	37.07	21.51	40.25	26.03	35.58	23.98	
Peso de agua (g)	14.67	20.91	13.65	24.05	11.48	26.96	
Peso de suelo seco (g)	120.16	154.90	111.74	176.26	93.90	163.75	
Contenido de humedad (%)	12.21	13.50	12.22	13.64	12.23	16.46	
Peso Unitario seco (g/cm <sup>3</sup> )	1.97	1.98	1.94	1.95	1.87	1.88	

Datos del Ensayo Proctor Modificado      Peso Unitario Seco = 2.036 gr/cm<sup>3</sup>      C.H.O. = 7.71 %

#### INMERSIÓN

Sobrecarga de saturación = 4.54 Kg											
FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
				mm	%		mm	%		mm	%
22/06/2018	12:40	0	0.000	0.000	0.0	0.000	0.000	0.0	0.000	0.000	0.0
23/06/2018	12:40	24	0.012	0.300	0.2	0.019	0.475	0.4	0.025	0.625	0.5
24/06/2018	12:05	48	0.032	0.800	0.6	0.042	1.050	0.8	0.058	1.450	1.1
25/06/2018	11:50	72	0.047	1.175	0.9	0.058	1.450	1.1	0.060	1.500	1.2
26/06/2018	11:40	96	0.052	1.300	1.0	0.058	1.450	1.1	0.060	1.500	1.2

#### PENETRACION

Sobrecarga de penetración = 4.54 Kg													
PENETRACION mm	CARGA STAND. kg/cm <sup>2</sup>	MOLDE Nº				MOLDE Nº				MOLDE Nº			
		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION	
		Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%
0.000		0	0			0	0			0	0		
0.625		18	95.4			15	84.6			9	63.2		
1.250		38	166.9			35	156.2			19	99.0		
1.875		50	209.9			45	192.0			25	120.4		
2.540	70.31	60	245.6	240.2	17.4	50	209.9	211.0	15.3	30	138.3	138.7	10.0
5.080	105.46	75	299.3	327.3	15.8	62	252.8	281.9	13.6	40	174.1	187.2	9.0
7.500		87	342.2			73	292.1			45	192.0		
10.000		96	374.4			80	317.2			50	209.9		
12.500		105	406.6			88	345.8			53	220.6		

**Ing. Elio Alejandro Milla Vergara**  
 INGENIERO CIVIL  
 REG. CIP. N° 42832

Laboratorio: Prolongación Caraz Nº 1019 - Huaraz  
 Jr. Ramón Castilla Nº 939 - Huaraz - Teléfono (043) 422315 Celular 944-931238 - E-mail: emv.laboratorio@gmail.com



## EMV LABORATORIOS Y CONSTRUCCIÓN E.I.R.L.

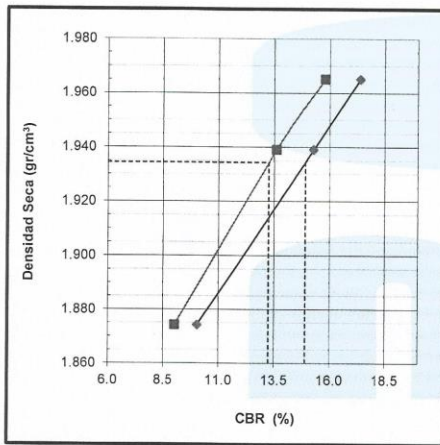
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, ENSAYO DE MATERIALES, CONCRETO Y PAVIMENTOS  
LABORATORIO QUÍMICO DE SUELOS Y AGUAS  
OBRAS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA

### CBR (Relación de soporte de California) DE SUELOS EN EL LABORATORIO (MTC E 132)

Tesis :	Estabilización del suelo de la subrasante usando el relave minero de Ticapampa en la carretera EMP PE 3N (Catac) - Tunel Kahuish - Chavin de Huanar - San Marcos	Fecha : 26/06/2018
Tesista :	BIC. Jesús Miguel Romero Flores	Muestreado por : Interesado
Lugar :	Recuay - Ancash	Técnico : Y.D.T

#### DATOS DE LA MUESTRA

Calicata :	C-01+10%Relave	Progresiva :	62+440
Muestra :	mab-01	Clasif. (SUCS) :	SC
Material :	Sub-rasante Est.	Clasif. (AASHTO) :	A-6(3)

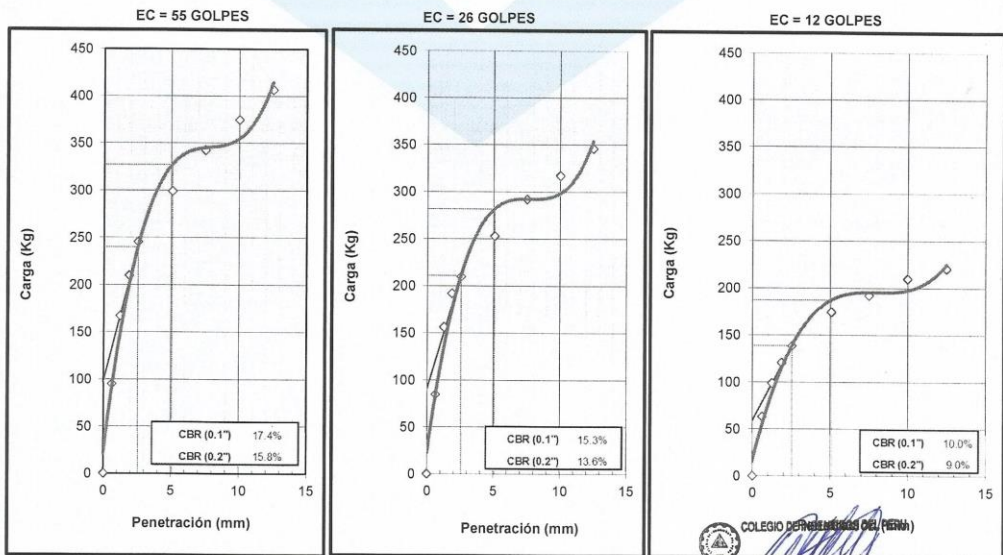


METODO DE COMPACTACION : ASTM D1557  
 MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm3) : 2.04  
 OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%) : 7.71  
 95% MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm3) : 1.93

C.B.R. al 100% de M.D.S. (%)	0.1":	23.1	0.2":	22.8
C.B.R. al 95% de M.D.S. (%)	0.1":	14.9	0.2":	13.3

**RESULTADOS:**  
 Valor de C.B.R. al 100% de la M.D.S. = 22.8 (%)  
 Valor de C.B.R. al 95% de la M.D.S. = 13.3 (%)

**OBSERVACIONES:**



Laboratorio: Prolongación Caraz N° 1019 - Huaraz

Jr. Ramón Castilla N° 939 - Huaraz - Teléfono (043) 422315 Celular 944-931238 - E-mail: emv.laboratorio@gmail.com

Ing. Elio Alejandro Milla Vergara  
 INGENIERO CIVIL  
 REG. CIP N° 42832

## B.5. CALICATA N°2 – SUELO DE LA SUBRASANTE



**EMV LABORATORIOS Y CONSTRUCCIÓN E.I.R.L.**  
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, ENSAYO DE MATERIALES, CONCRETO Y PAVIMENTOS  
 LABORATORIO QUÍMICO DE SUELOS Y AGUAS  
 OBRAS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA

### HOJA RESUMEN - ENSAYOS ESTANDAR - CLASIFICACIÓN SUCS Y AASHTO (MTC ANEXO 1)

Tesis	: Estabilización del suelo de la subrasante usando el relave minero de Ticapampa en la carretera EMP PE 3N (Catac) - Tunel Kahuish - Chavin de Huantar - San Marcos EMP. PE - 14A (Succha), Ancash	
Tesista	: BIC. Jesús Miguel Romero Flores	Fecha : 23-12-18
Lugar	: Recuay - Ancash	Muestreado por : Interesado
		Técnico : Y.D.T

DATOS DE LA MUESTRA	Progresiva	62+540			
	Cantera	--			
	Calicata	C-02			
	Profundidad	--			
Porcentaje de material que pasa la malla de porción de material < 3"	3"	100.00			
	2"	100.00			
	1 1/2"	100.00			
	1"	98.69			
	3/4"	93.10			
	3/8"	86.43			
	# 4	81.48			
	# 10	75.88			
	# 20	72.73			
	# 40	67.12			
	# 60	62.69			
# 140	50.78				
# 200	47.04				
Coef. de Uniformidad Cu		--			
Coef. de Curvatura Cc		--			
Porcentaje de Material	Grava	18.52			
	Arena	34.44			
	Finos	47.04			
Mitad de Fracción Gruesa		26.48			
Límites de	L.L.	29.00			
	L.P.	14.00			
Consistencia	I.P.	15.00			
Humedad Natural (%)		4.01			
Índice de Grupo	IG - LL	1.75			
	IG - IP	1.60			
	Índice de Grupo	3			
Clasificación AASTHO		A-6(3)			
Clasificación SUCS		SC			
Descripción		Arena arcillosa con grava			

**Ing. Efraín Alejandro Milla Vergara**  
INGENIERO CIVIL  
REG. CIP N° 42832

Laboratorio: Prolongación Caraz N° 1019 - Huaraz

Jr. Ramón Castilla N° 939 - Huaraz - Teléfono (043) 422315 Celular 944-931238 - E-mail: emv.laboratorio@gmail.com





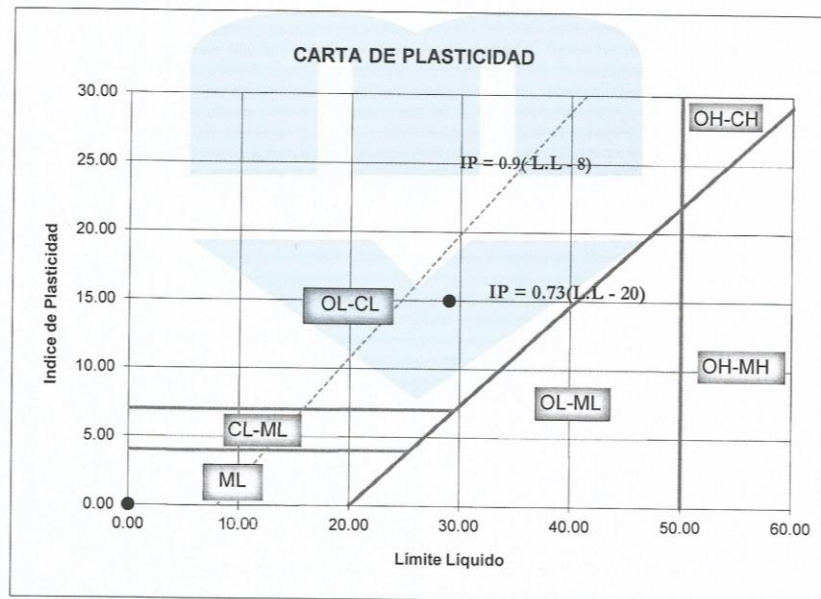
## EMV LABORATORIOS Y CONSTRUCCIÓN E.I.R.L.

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, ENSAYO DE MATERIALES, CONCRETO Y PAVIMENTOS  
LABORATORIO QUÍMICO DE SUELOS Y AGUAS  
OBRAS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA

### HOJA RESUMEN - ENSAYOS ESTANDAR - CLASIFICACIÓN SUCS Y AASHTO (MTC ANEXO 1)

#### UBICACIÓN DE PUNTOS EN LA CARTA DE PLASTICIDAD

Proyecto	: Estabilización del suelo de la subrasante usando el relave minero de Ticapampa en la carretera EMP PE 3N (Catac) - Tunel Kahuish - Chavin de Huantar - San Marcos EMP. PE - 14A (Succha), Ancash		
Solicita	: BIC. Jesús Miguel Romero Flores		Fecha : 23-12-18
Lugar	: Recuay - Ancash		Muestreado por : Interesado Técnico : Y.D.T
DATOS DE LA MUESTRA			
Cantera	: -.-	Progresiva : 62+540	Material : Sub-rasante
Calicata	: C-02	Muestra : mab-01	Profundidad : -.-



COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERU  
Ing. Elio Alejandro Milla Vergara  
INGENIERO CIVIL  
REG. CIP. N° 42832

Laboratorio: Prolongación Caraz N° 1019 - Huaraz  
Jr. Ramón Castilla N° 939 - Huaraz - Teléfono (043) 422315 Celular 944-931238 - E-mail: emv.laboratorio@gmail.com



## EMV LABORATORIOS Y CONSTRUCCIÓN E.I.R.L.

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, ENSAYO DE MATERIALES, CONCRETO Y PAVIMENTOS  
LABORATORIO QUÍMICO DE SUELOS Y AGUAS  
OBRAS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA

### CONTENIDO DE HUMEDAD DE UN SUELO (MTC E 108)

Proyecto	: Estabilización del suelo de la subrasante usando el relave minero de Ticapampa en la carretera EMP PE 3N (Catac) - Tunel Kahuish - Chavin de Huantar - San Marcos EMP. PE - 14A (Succha), Ancash		
Solicita	: BIC. Jesús Miguel Romero Flores	Fecha	: 23-12-18
Lugar	: Recuay - Ancash	Muestreado por	: Interesado
		Técnico	: Y.D.T
DATOS DE LA MUESTRA			
Cantera	: -.-	Progresiva	: 62+540
Calicata	: C-02	Muestra	: mab-01
		Material	: Sub-rasante
		Profundidad	: -.-

DESCRIPCION		M - 1	M - 2
Peso Suelo Húmedo + Contenedor	Mcws	236.90	223.13
Peso Suelo Seco + Contenedor	Mcs	229.61	215.71
Peso Contenedor	Mc	39.16	38.41
Peso Suelo Seco (Mw=Mcws-Mcs)	Mw	190.45	177.30
Peso del Agua (Ms=Mcws-Mc)	Ms	7.29	7.42
Contenido de Humedad (w=Mw/Ms)	w	3.83	4.18

Humedad Promedio (%)	4.01
----------------------	------

 COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERU  
Ing. Eiko Alejandro Castilla Vergara  
INGENIERO CIVIL  
REG. CIP N° 42832



## EMV LABORATORIOS Y CONSTRUCCIÓN E.I.R.L.

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, ENSAYO DE MATERIALES, CONCRETO Y PAVIMENTOS  
LABORATORIO QUÍMICO DE SUELOS Y AGUAS  
OBRAS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA

### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO (MTC E 107)

Tesis : Estabilización del suelo de la subrasante usando el relave minero de Ticapampa en la carretera EMP PE 3N (Catac) - Tunel Kahuish - Chavin de Huantar - San Marcos EMP. PE - 14A (Succha), Ancash

Tesista : BIC. Jesús Miguel Romero Flores

Lugar : Recuay - Ancash

Fecha : 08-02-19  
Muestreado por : Interesado  
Técnico : Y.D.T

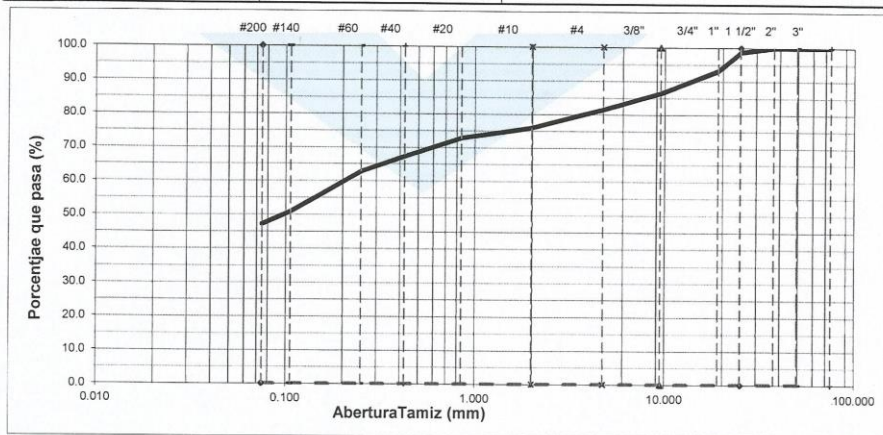
#### DATOS DE LA MUESTRA

Cantera : -- Progresiva : 62+540 Material : Sub-rasante  
Calicata : C-02 Muestra : mab-01 Tamaño Máximo : 1 1/2"

#### DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA

Masa Inicial Seca (gr) = 2439.70 Porción de masa que pasa tamiz N° 10 (gr) = 130.0  
Masa Lavada y Seca (gr) = 1291.96 Masa de Material Grueso (gr) = 588.50  
Masa Retenido 3"(gr) = 0.00 % que pasa N° 200 = 47.04

Abertura de Tamices		RETENIDO EN CADA TAMIZ		PORCENTAJE ACUMULADO		Especificación EG 2013
ASTM	mm	Masa (gr)	%	Retenido	Que pasa	
3"	75.000	0.00	0.00	0.0	100.0	
2"	50.000	0.00	0.00	0.0	100.0	
1 1/2"	37.500	0.00	0.00	0.0	100.0	
1"	25.000	32.00	1.31	1.3	98.7	
3/4"	19.000	136.30	5.59	6.9	93.1	
3/8"	9.500	162.70	6.67	13.6	86.4	
# 4	4.750	120.80	4.95	18.5	81.5	
# 10	2.000	136.70	5.60	24.1	75.9	
# 20	0.850	5.40	3.15	27.3	72.7	
# 40	0.425	9.60	5.60	32.9	67.1	
# 60	0.250	7.60	4.44	37.3	62.7	
# 140	0.106	20.40	11.91	49.2	50.8	
# 200	0.075	6.40	3.74	53.0	47.0	
< 200	Fondo	80.60	47.04	100.0	0.0	



% GRAVA	18.52	% Gruesa :	6.90	D60 (mm) =	0.218
		% Fina :	11.62	D30 (mm) =	0.000
% ARENA	34.44	% Gruesa :	5.60	D10 (mm) =	0.000
		% Media :	8.76	Coef. Unif. (Cu) =	--
		% Fina :	20.08	Coef. Conc. (Cc) =	--
% FINOS	47.04				

**Ing. Alejandro Milla Vergara**  
 INGENIERO CIVIL  
 REG. CIP N° 42832

Laboratorio: Prolongación Caraz N° 1019 - Huaraz

Jr. Ramón Castilla N° 939 - Huaraz - Teléfono (043) 422315 Celular 944-931238 - E-mail: emv.laboratorio@gmail.com



## EMV LABORATORIOS Y CONSTRUCCIÓN E.I.R.L.

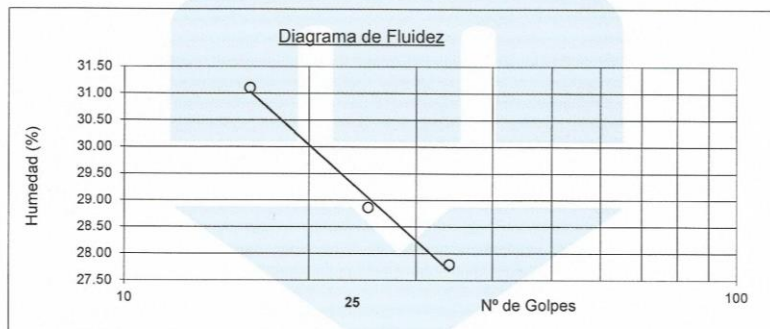
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, ENSAYO DE MATERIALES, CONCRETO Y PAVIMENTOS  
LABORATORIO QUÍMICO DE SUELOS Y AGUAS  
OBRAS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA

### LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO DE LOS SUELOS E INDICE DE PLASTICIDAD (MTC E 110 y MTC E 111)

Tesis	: Estabilización del suelo de la subrasante usando el relave minero de Ticapampa en la carretera EMP PE 3N (Catac) - Tunel Kahuish - Chavin de Huantar - San Marcos EMP. PE - 14A (Succha), Ancash		
Tesista	: BIC. Jesús Miguel Romero Flores	Fecha	: 08/02/2019
Lugar	: Recuay - Ancash	Muestreado por	: Interesado
DATOS DE LA MUESTRA			
Cantera	: -.-	Progresiva	: 62+540
Calicata	: C-02	Muestra	: mab-01
		Material	: Sub-rasante
		Profundidad	: -.-
		Técnico	: Y.D.T

#### DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO

N° de golpes	16	25	34
P.Suelo Húmedo+Rec.	36.38	55.60	38.31
P.Suelo Seco+Rec.	31.69	51.00	33.48
Peso del Recipiente	16.61	35.06	16.10
Peso Suelo Seco	15.08	15.94	17.38
Peso del Agua	4.69	4.60	4.83
C. de Humedad %	31.10	28.86	27.79



#### DETERMINACION DEL LIMITE PLASTICO

P.Suelo Húmedo+Rec.	24.41	20.25
P.Suelo Seco+Rec.	23.28	19.05
Peso del Recipiente	15.18	10.53
Peso Suelo Seco	8.10	8.52
Peso del Agua	1.13	1.20
C. de Humedad %	13.95	14.08

Limite Líquido = 29.0

Limite Plástico = 14.0

Indice Plasticidad = 15.0

  
 Ing. Alejandro Milla Vergara  
 INGENIERO CIVIL  
 REG. C.I.P. N° 42832

Laboratorio: Prolongación Caraz N° 1019 - Huaraz

Jr. Ramón Castilla N° 939 - Huaraz - Teléfono (043) 422315 Celular 944-931238 - E-mail: emv.laboratorio@gmail.com



**GRAVEDAD ESPECIFICA**  
(MTC E 206)

Tesis	: Estabilización del suelo de la subrasante usando el relave minero de Ticapampa en la carretera EMP PE 3N (Catac) - Tunel Kahuish - Chavin de Huantar - San Marcos EMP. PE - 14A (Succha), Ancash		
Tesista	: BIC. Jesús Miguel Romero Flores	Fecha	: 08-02-19
Lugar	: Recuay - Ancash	Muestreado por	: Interesado
		Tecnico	: Y.D.T
<b>DATOS DE LA MUESTRA</b>			
Cantera	: -.-	Progresiva	: 62+540
Calicata	: C-02	Muestra	: mab-01
Material	: Sub-rasante	Profundidad	: -.-

Agregado		GRUESO	GRUESO
Tamaño máximo de la muestra		1 1/2"	1 1/2"
Tipo de frasco utilizado		Cesta	Cesta
Masa del frasco dentro del agua (gr)	(A)	1000.00	1000.00
Masa de la muestra saturada superficialmente seca (gr)	(B)	1297.98	1207.20
Masa de la muestra saturada dentro del agua + frasco (gr)	(C)	1805.23	1746.82
Masa de la muestra seca (gr)	(D)	1275.00	1179.10
Masa de la muestra saturada dentro del agua (gr)	(E)	805.23	746.82
Gravedad Especifica B/(B-E)		2.63	2.62
<b>Gravedad Especifica Promedio</b>		<b>2.63</b>	
Gravedad Especifica Aparente, $Gea = D/(D - C)$		2.71	2.73
Densidad Aparente, $Da = 0.9975D/(D-E)$		2.71	2.72
<b>Densidad Aparente Promedio, Da</b>		<b>2.71</b>	

Observación:

COLLEGIO DE INGENIEROS DEL PERU  
Ing. Elio Alejandro Milla Vergara  
INGENIERO CIVIL  
REG. CIP N° 42632



## EMV LABORATORIOS Y CONSTRUCCIÓN E.I.R.L.

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, ENSAYO DE MATERIALES, CONCRETO Y PAVIMENTOS  
LABORATORIO QUÍMICO DE SUELOS Y AGUAS  
OBRAS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA

### COMPACTACION DE SUELOS EN LABORATORIO UTILIZANDO UNA ENERGIA MODIFICADA (PROCTOR MODIFICADO) (MTC E115)

Tesis	: Estabilización del suelo de la subrasante usando el relave minero de Ticapampa en la carretera EMP PE 3N (Catac) - Tunel Kahuish - Chavin de Huantar - San Marcos	Fecha : 23-12-18
	: EMP. PE - 14A (Succha), Ancash	
Tesista	: BIC. Jesús Miguel Romero Flores	Muestreado por : Interesado
Lugar	: Recuay - Ancash	Técnico : Y.D.T

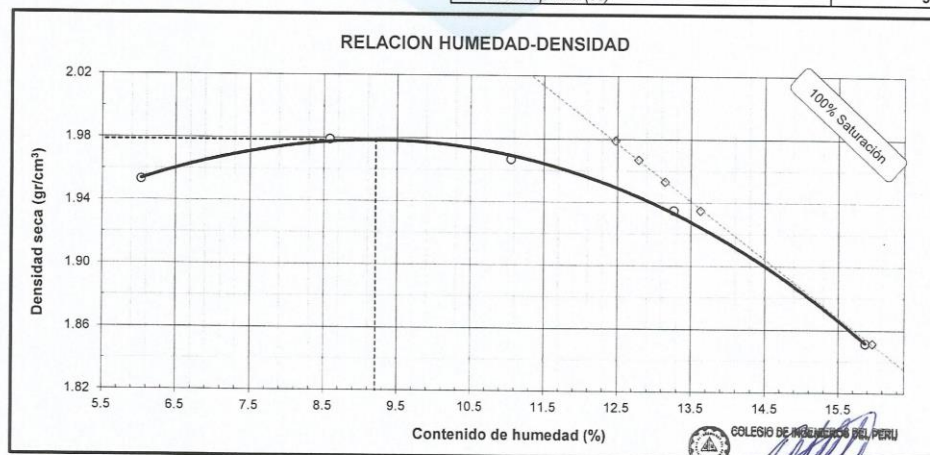
#### DATOS DE LA MUESTRA

Cantera	: --	Progresiva	: 62+540
Calicata	: C-02	Muestra	: mab-01
Material	: Sub-rasante	Clasif. (SUCS)	: SC
		Clasif. (AASHTO)	: A-6(3)

PROCEDIMIENTO DE COMPACTACION:	A	Método de Preparación:	Húmedo	Molde N°:	04
Pisón:	Manual	Gravedad Específica (Gs):	2.63	Tamiz N°:	# 4
Golpes por capa:	25	Capas:	Cinco	P <sub>e</sub> (%):	18.52

Masa suelo húmedo + molde	gr	3880.2	3953.4	3986.6	3993.4	3949.8
Masa del molde	gr	1938.0	1938.0	1938.0	1938.0	1938.0
Peso suelo húmedo compactado	gr	1942.2	2015.4	2048.6	2055.4	2011.8
Volumen del molde	cm <sup>3</sup>	937.9	937.9	937.9	937.9	937.9
Densidad húmeda compactada	gr/cm <sup>3</sup>	2.071	2.149	2.184	2.192	2.145
Cálculo Contenido de Humedad						
Masa del suelo húmedo+ recip.	gr	215.40	219.76	251.71	238.51	212.25
Masa del suelo seco + recipiente	gr	205.44	205.43	228.90	213.07	188.17
Masa del recipiente	gr	40.18	38.40	22.50	21.24	36.39
Masa del agua	gr	9.96	14.33	22.81	25.44	24.08
Masa del suelo seco	gr	165.26	167.03	206.40	191.83	151.78
Contenido de Humedad	%	6.03	8.58	11.05	13.26	15.87
Densidad seca compactada	gr/cm <sup>3</sup>	1.95	1.98	1.97	1.93	1.85

Densidad Seca Compactada Máxima (gr/cm <sup>3</sup> ) $\gamma_d$	1.98
Peso Unitario Seco Compactado (kN/m <sup>3</sup> ) $\gamma_d$	19.4
Humedad óptima (%)	9.21



Observaciones:

Laboratorio: Prolongación Caraz N° 1019 - Huaraz

Jr. Ramón Castilla N° 939 - Huaraz - Teléfono (043) 422315 Celular 944-931238 - E-mail: emv.laboratorio@gmail.com

**Ing. Elio Alejandro Millá Vergara**  
 INGENIERO CIVIL  
 REC. C.P. N° 42832



**EMV LABORATORIOS Y CONSTRUCCIÓN E.I.R.L.**  
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, ENSAYO DE MATERIALES, CONCRETO Y PAVIMENTOS  
 LABORATORIO QUÍMICO DE SUELOS Y AGUAS  
 OBRAS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA

**CBR (Relación de soporte de California) DE SUELOS EN EL LABORATORIO**  
 (MTC E 132)

Tesis	: Estabilización del suelo de la subrasante usando el relave minero de Ticapampa en la carretera EMP PE 3N (Catac) - Tunel Kahuish - Chavin de Huantar - San Marcos EMP. PE - 14A (Succha), Ancash	Fecha de Ensayo	: 22/02/2019
Tesista	: BIC. Jesús Miguel Romero Flores	Muestreado por	: Interesado
Lugar	: Recuay - Ancash	Técnico	: Y.D.T

DATOS DE LA MUESTRA			
Calicata	: C-02	Progresiva	: 62+540
Muestra	: mab-01	Clasif. (SUCS)	: SC
Material	: Sub-rasante	Clasif. (AASHTO)	: A-6(3)

PREPARACIÓN DEL ESPECÍMEN (COMPACTACION)						
Compactación	: Modificado	Método	: A			
Molde N°		1	2	3		
Capas N°		5	5	5		
Golpes por capa N°		55	26	12		
Condición de la muestra		NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO
Peso de molde + Suelo húmedo (g)		12592.1	12787.2	12467.5	12645.9	12287.9
Peso de molde (g)		7929.8	7929.8	7994.1	7994.1	8042.9
Peso del suelo húmedo (g)		4662.3	4857.4	4473.4	4651.8	4245.0
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )		2134.3	2134.3	2123.1	2123.1	2125.7
Peso Unitario húmedo (g/cm <sup>3</sup> )		2.18	2.28	2.11	2.19	2.00
		Contenido de Humedad				
Peso suelo húmedo + recipiente (g)		229.78	250.12	245.24	252.28	239.18
Peso suelo seco + recipiente (g)		210.95	221.71	223.34	223.36	217.65
Peso del recipiente (g)		24.15	21.51	26.03	22.43	23.98
Peso de agua (g)		18.83	28.41	21.90	28.92	21.53
Peso de suelo seco (g)		186.80	200.20	197.31	200.93	193.67
Contenido de humedad (%)		10.08	14.19	11.10	14.39	11.12
Peso Unitario seco (g/cm <sup>3</sup> )		1.98	1.99	1.90	1.92	1.80

Datos del Ensayo Proctor Modificado      Peso Unitario Seco = 1.979 gr/cm<sup>3</sup>      C.H.O. = 9.21 %

Sobrecarga de saturación = 4.54 Kg											
FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
				mm	%		mm	%		mm	%
22/02/2019	12:40	0	0.000	0.000	0.0	0.000	0.000	0.0	0.000	0.000	0.0
23/02/2019	12:40	24	0.050	1.250	1.0	0.100	2.500	2.0	0.250	6.250	4.9
24/02/2019	12:05	48	0.150	3.750	3.0	0.250	6.250	4.9	0.450	11.250	8.9
25/02/2019	11:50	72	0.350	8.750	6.9	0.850	21.250	16.7	0.950	23.750	18.7
26/02/2019	11:40	96	0.900	22.500	17.7	1.040	26.000	20.5	1.180	29.500	23.2

PENETRACION															
Sobrecarga de penetración = 4.54 Kg															
PENETRACION mm	CARGA STAND. kg/cm <sup>2</sup>	MOLDE N°						MOLDE N°				MOLDE N°			
		CARGA		CORRECCION		%	CARGA		CORRECCION		%	CARGA		CORRECCION	
		Dial (div)	kg	kg	%		Dial (div)	kg	kg	%		Dial (div)	kg	kg	%
0.000		0	0				0	0				0	0		
0.625		10	66.8				7	56.0				5	48.9		
1.250		18	95.4				12	73.9				10	66.8		
1.875		26	124.0				18	95.4				14	81.1		
2.540	70.31	32	145.5	145.1	10.5		21	106.1	110.8	8.0		18	95.4	99.1	7.2
5.080	105.46	45	192.0	205.1	9.9		35	156.2	163.9	7.9		30	138.3	142.8	6.9
7.500		55	227.8				45	192.0				36	159.8		
10.000		62	252.8				54	224.2				39	170.5		
12.500		71	285.0				63	256.4				42	181.2		


 COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERU  
 Ing. Elio Alejandro Milla Vergara  
 INGENIERO CIVIL  
 REG. CIP N° 42832

Laboratorio: Prolongación Caraz N° 1019 - Huaraz  
 Jr. Ramón Castilla N° 939 - Huaraz - Teléfono (043) 422315 Celular 944-931238 - E-mail: emv.laboratorio@gmail.com



## EMV LABORATORIOS Y CONSTRUCCIÓN E.I.R.L.

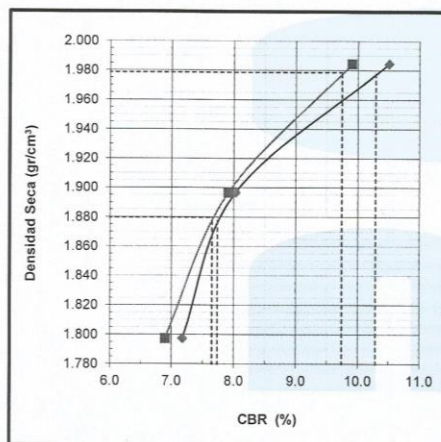
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, ENSAYO DE MATERIALES, CONCRETO Y PAVIMENTOS  
LABORATORIO QUÍMICO DE SUELOS Y AGUAS  
OBRAS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA

### CBR (Relación de soporte de California) DE SUELOS EN EL LABORATORIO (MTC E 132)

Tesis :	Estabilización del suelo de la subrasante usando el relave minero de Ticapampa en la carretera EMP PE 3N (Catac) - Tunel Kahuish - Chavin de Huantar - San Marcos EMP. PE - 14A (Succha), Ancash	Fecha : 26/02/2019
Tesista :	BIC. Jesús Miguel Romero Flores	Muestreado por : Interesado
Lugar :	Recuay - Ancash	Técnico : Y.D.T

#### DATOS DE LA MUESTRA

Calicata :	C-02	Progresiva :	62+540
Muestra :	mab-01	Clasif. (SUCS) :	SC
Material :	Sub-rasante	Clasif. (AASHTO) :	A-6(3)



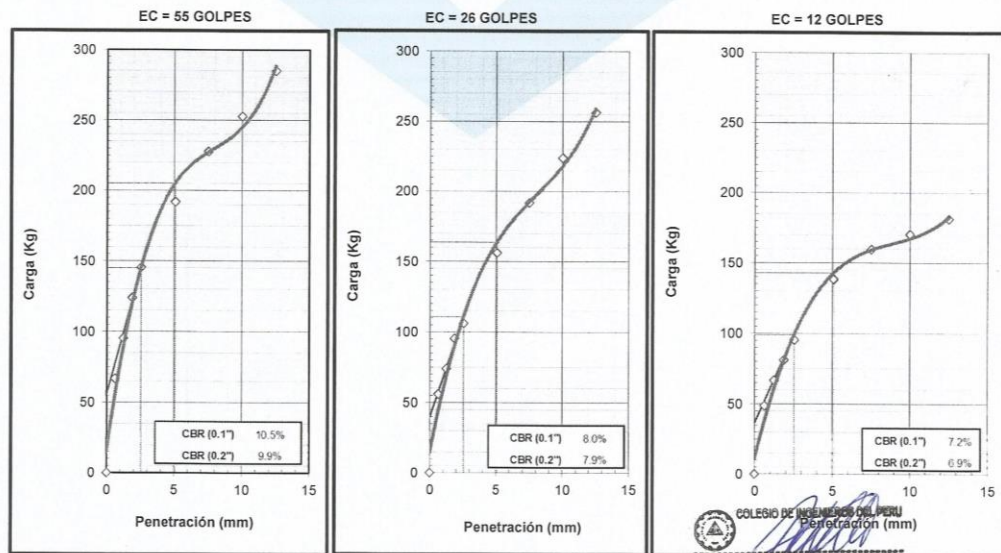
METODO DE COMPACTACION : ASTM D1557  
 MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm3) : 1.98  
 OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%) : 9.21  
 95% MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm3) : 1.88

C.B.R. al 100% de M.D.S. (%)	0.1": 10.3	0.2": 9.7
C.B.R. al 95% de M.D.S. (%)	0.1": 7.7	0.2": 7.7

#### RESULTADOS:

Valor de C.B.R. al 100% de la M.D.S. = 9.7 (%)  
 Valor de C.B.R. al 95% de la M.D.S. = 7.7 (%)

#### OBSERVACIONES:



Ing. Elio Alejandro Millán Vergara  
 INGENIERO CIVIL  
 REG. CIP N° 48932

Laboratorio: Prolongación Caraz N° 1019 - Huaraz  
 Jr. Ramón Castilla N° 939 - Huaraz - Teléfono (043) 422315 Celular 944-931238 - E-mail: emv.laboratorio@gmail.com



**B.6. CALICATA N°2 – SUELO DE LA SUBRASANTE + 5% DEL RELAVE MINERO DE TICAPAMPA.**



**EMV LABORATORIOS Y CONSTRUCCIÓN E.I.R.L.**

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, ENSAYO DE MATERIALES, CONCRETO Y PAVIMENTOS

LABORATORIO QUÍMICO DE SUELOS Y AGUAS

OBRAS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA

**HOJA RESUMEN - ENSAYOS ESTANDAR - CLASIFICACIÓN SUCS Y AASHTO  
(MTC ANEXO 1)**

Tesis	: Estabilización del suelo de la subrasante usando el relave minero de Ticapampa en la carretera EMP PE 3N (Catac) - Tunel Kahuish - Chavin de Huantar - San Marcos EMP. PE - 14A (Succha), Ancash	Fecha : 23-12-18
Tesista	: BIC. Jesus Miguel Romero Flores	Muestreado por : Interesado
Lugar	: Recuay - Ancash	Técnico : Y.D.T

DATOS DE LA MUESTRA	Progresiva	62+540					
	Cantera	--					
	Calicata	C-02+5%Relave					
	Profundidad	--					
Porcentaje de material que pasa la malla de porción de material < 3"	3"	100.00					
	2"	100.00					
	1 1/2"	100.00					
	1"	98.75					
	3/4"	93.45					
	3/8"	87.11					
	# 4	82.41					
	# 10	77.08					
	# 20	75.30					
	# 40	72.01					
Coef. de Uniformidad Cu		--					
	Coef. de Curvatura Cc	--					
	Porcentaje de Material	Grava	17.59				
		Arena	33.74				
Finos		48.67					
Mitad de Fracción Gruesa		25.67					
Limites de Consistencia	L.L.	30.00					
	L.P.	14.00					
	I.P.	16.00					
Humedad Natural (%)		4.01					
Indice de Grupo	IG - LL	2.05					
	IG - IP	2.02					
	Indice de Grupo	4					
Clasificación AASTHO		A-6(4)					
Clasificación SUCS		SC					
Descripción		Arena arcillosa con grava					

COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERU  
  
 Ing. Elio Alejandro Milla Vergara  
 INGENIERO CIVIL  
 REG. CIP N° 42832

Laboratorio: Prolongación Caraz N° 1019 - Huaraz

Jr. Ramón Castilla N° 939 - Huaraz - Teléfono (043) 422315 Celular 944-931238 - E-mail: emv.laboratorio@gmail.com



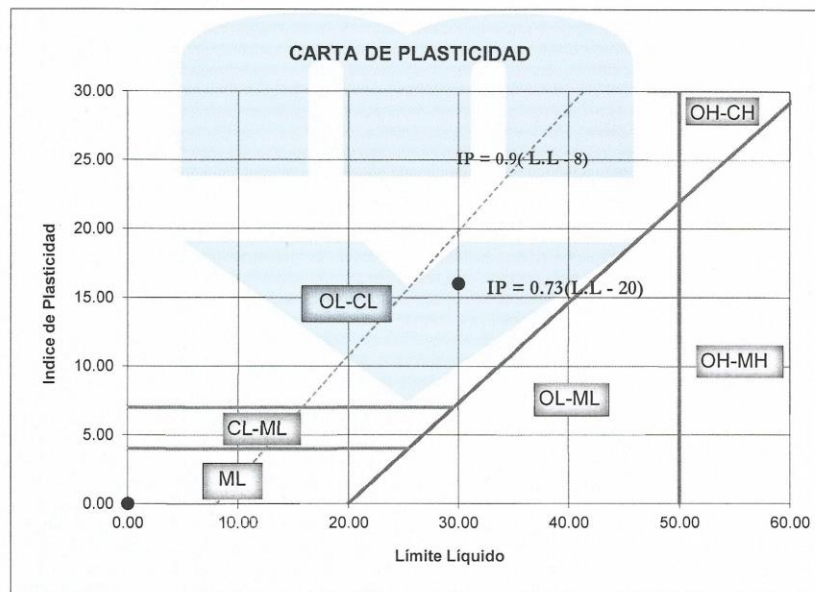
## EMV LABORATORIOS Y CONSTRUCCIÓN E.I.R.L.

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, ENSAYO DE MATERIALES, CONCRETO Y PAVIMENTOS  
LABORATORIO QUÍMICO DE SUELOS Y AGUAS  
OBRAS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA

### HOJA RESUMEN - ENSAYOS ESTANDAR - CLASIFICACIÓN SUCS Y AASHTO (MTC ANEXO 1)

#### UBICACIÓN DE PUNTOS EN LA CARTA DE PLASTICIDAD

Proyecto	: Estabilización del suelo de la subrasante usando el relave minero de Ticapampa en la carretera EMP PE 3N (Catac) - Tunel Kahuish - Chavin de Huantar - San Marcos EMP. PE - 14A (Succha), Ancash		
Solicita	: BIC. Jesus Miguel Romero Flores	Fecha	: 23-12-18
Lugar	: Recuay - Ancash	Muestreado por	: Interesado
DATOS DE LA MUESTRA			
Cantera	: -	Progresiva	: 62+540
Calicata	: C-02+5%Relave	Muestra	: mab-01
		Material	: Sub-rasante Es
		Profundidad	: -



COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERU  
Ing. *Alejandro Milla Vergara*  
INGENIERO CIVIL  
REG. CIP. N° 42832

Laboratorio: Prolongación Caraz N° 1019 - Huaraz  
Jr. Ramón Castilla N° 939 - Huaraz - Teléfono (043) 422315 Celular 944-931238 - E-mail: emv.laboratorio@gmail.com



## EMV LABORATORIOS Y CONSTRUCCIÓN E.I.R.L.

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, ENSAYO DE MATERIALES, CONCRETO Y PAVIMENTOS  
LABORATORIO QUÍMICO DE SUELOS Y AGUAS  
OBRAS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA

### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO (MTC E 107)

Tesis : Estabilización del suelo de la subrasante usando el relave minero de Ticapampa en la carretera EMP PE 3N (Catac) - Tunel Kahuish - Chavin de Huantar - San Marcos EMP. PE - 14A (Succha), Ancash  
 Tesista : BIC. Jesus Miguel Romero Flores Fecha : 02-03-19  
 Lugar : Recuay - Ancash Muestreado por : Interesado  
 Técnico : Y.D.T

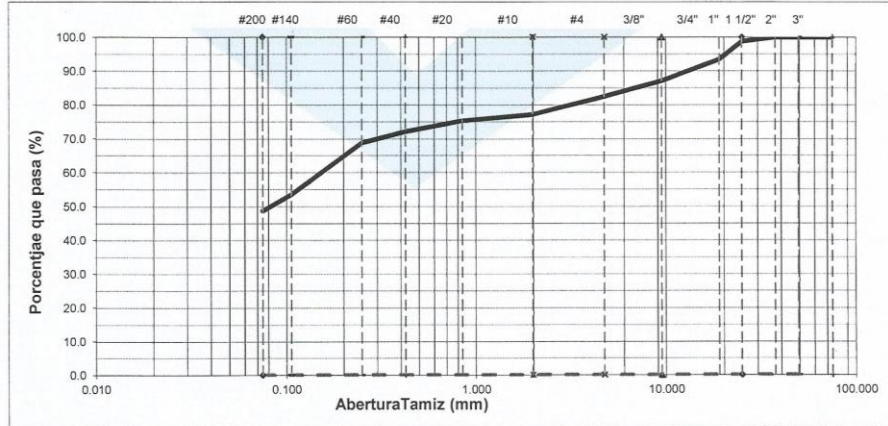
#### DATOS DE LA MUESTRA

Cantera : -- Progresiva : 62+540 Material : Sub-rasante Est.  
 Calicata : C-02+5%Relave Muestra : mab-01 Tamaño Máximo: 1 1/2"

#### DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA

Masa Inicial Seca (gr) = 2568.11 Porción de masa que pasa tamiz N° 10 (gr) = 258.2  
 Masa Lavada y Seca (gr) = 1318.29 Masa de Material Grueso (gr) = 588.73  
 Masa Retenido 3"(gr) = 0.00 % que pasa N° 200 = 48.67

Abertura de Tamices		RETENIDO EN CADA TAMIZ		PORCENTAJE ACUMULADO		Especificación EG 2013
ASTM	mm	Masa (gr)	%	Retenido	Que pasa	
3"	75.000	0.00	0.00	0.0	100.0	
2"	50.000	0.00	0.00	0.0	100.0	
1 1/2"	37.500	0.00	0.00	0.0	100.0	
1"	25.000	32.00	1.25	1.2	98.8	
3/4"	19.000	136.30	5.31	6.6	93.4	
3/8"	9.500	162.70	6.34	12.9	87.1	
# 4	4.750	120.80	4.70	17.6	82.4	
# 10	2.000	136.93	5.33	22.9	77.1	
# 20	0.850	5.94	1.77	24.7	75.3	
# 40	0.425	11.04	3.30	28.0	72.0	
# 60	0.250	11.00	3.28	31.3	68.7	
# 140	0.106	51.31	15.32	46.6	53.4	
# 200	0.075	15.87	4.74	51.3	48.7	
< 200	Fondo	163.02	48.67	100.0	0.0	



% GRAVA	17.59	% Gruesa :	6.55	D60 (mm) =	0.168
		% Fina :	11.04	D30 (mm) =	0.000
% ARENA	33.74	% Gruesa :	5.33	D10 (mm) =	0.000
		% Media :	5.07	Coef. Unif. (Cu) =	--
		% Fina :	23.34	Coef. Conc. (Cc) =	
% FINOS	48.67				

Ing. Elio Alejandro Milla Vergara  
 INGENIERO CIVIL  
 REG. C. P. N° 42832

Laboratorio: Prolongación Caraz N° 1019 - Huaraz

Jr. Ramón Castilla N° 939 - Huaraz - Teléfono (043) 422315 Celular 944-931238 - E-mail: emv.laboratorio@gmail.com



## EMV LABORATORIOS Y CONSTRUCCIÓN E.I.R.L.

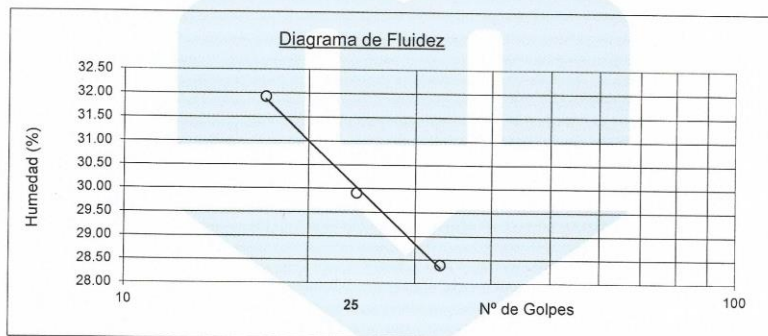
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, ENSAYO DE MATERIALES, CONCRETO Y PAVIMENTOS  
LABORATORIO QUÍMICO DE SUELOS Y AGUAS  
OBRAS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA

### LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO DE LOS SUELOS E INDICE DE PLASTICIDAD (MTC E 110 y MTC E 111)

Tesis	: Estabilización del suelo de la subrasante usando el relave minero de Ticapampa en la carretera EMP PE 3N (Catac) - Tunel Kahuish - Chavin de Huanter - San Marcos EMP. PE - 14A (Succha), Ancash		
Tesista	: BIC. Jesus Miguel Romero Flores	Fecha	: 02/03/2019
Lugar	: Recuay - Ancash	Muestreado por	: Interesado
Técnico : Y.D.T			
DATOS DE LA MUESTRA			
Cantera	: -.-	Progresiva	: 62+540
Calicata	: C-02+5%Relave	Muestra	: mab-01
		Material	: Sub-rasante Est.
		Profundidad	: -.-

#### DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO

N° de golpes	17	24	33
P.Suelo Húmedo+Rec.	33.86	34.85	32.56
P.Suelo Seco+Rec.	29.64	30.69	29.06
Peso del Recipiente	16.42	16.78	16.73
Peso Suelo Seco	13.22	13.91	12.33
Peso del Agua	4.22	4.16	3.50
C. de Humedad %	31.92	29.91	28.39



#### DETERMINACION DEL LIMITE PLASTICO

P.Suelo Húmedo+Rec.	24.62	20.66
P.Suelo Seco+Rec.	23.39	19.43
Peso del Recipiente	14.52	10.53
Peso Suelo Seco	8.87	8.90
Peso del Agua	1.23	1.23
C. de Humedad %	13.87	13.82

Límite Líquido = 30.0

Límite Plástico = 14.0

Índice Plasticidad = 16.0


 COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERU  
 Ing. Alejandro Milla Vergara  
 INGENIERO CIVIL  
 REG. C.I.P. N° 42832

Laboratorio: Prolongación Caraz N° 1019 - Huaraz

Jr. Ramón Castilla N° 939 - Huaraz - Teléfono (043) 422315 Celular 944-931238 - E-mail: emv.laboratorio@gmail.com



## EMV LABORATORIOS Y CONSTRUCCIÓN E.I.R.L.

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, ENSAYO DE MATERIALES, CONCRETO Y PAVIMENTOS  
LABORATORIO QUÍMICO DE SUELOS Y AGUAS  
OBRAS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA

### GRAVEDAD ESPECIFICA (MTC E 206)

Tesis	: Estabilización del suelo de la subrasante usando el relave minero de Ticapampa en la carretera EMP PE 3N (Catac) - Tunel Kahuish - Chavin de Huantar - San Marcos EMP. PE - 14A (Succha), Ancash		
Tesista	: BIC. Jesus Miguel Romero Flores	Fecha	: 08-02-19
Lugar	: Recuay - Ancash	Muestreado por	: Interesado
		Tecnico	: Y.D.T
DATOS DE LA MUESTRA			
Cantera	: --	Progresiva	: 62+540
Calicata	: C-02+5%Relave	Muestra	: mab-01
Material	: Sub-rasante Est.	Profundidad	: --

Agregado		GRUESO	GRUESO
Tamaño máximo de la muestra		1 1/2"	1 1/2"
Tipo de frasco utilizado		Cesta	Cesta
Masa del frasco dentro del agua (gr)	(A)	1000.00	1000.00
Masa de la muestra saturada superficialmente seca (gr)	(B)	1297.98	1207.20
Masa de la muestra saturada dentro del agua + frasco (gr)	(C)	1805.23	1746.82
Masa de la muestra seca (gr)	(D)	1275.00	1179.10
Masa de la muestra saturada dentro del agua (gr)	(E)	805.23	746.82
Gravedad Especifica B/(B-E)		2.63	2.62
<b>Gravedad Especifica Promedio</b>		<b>2.63</b>	
Gravedad Especifica Aparente, $G_a = D/(D - C)$		2.71	2.73
Densidad Aparente, $D_a = 0.9975D/(D-E)$		2.71	2.72
<b>Densidad Aparente Promedio, <math>D_a</math></b>		<b>2.71</b>	

Observación:

COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERU  
  
Ing. Elio Alejandro Milla Vergara  
INGENIERO CIVIL  
REG. CIP. N° 42837

Laboratorio: Prolongación Caraz N° 1019 - Huaraz  
Jr. Ramón Castilla N° 939 - Huaraz - Teléfono (043) 422315 Celular 944-931238 - E-mail: emv.laboratorio@gmail.com



## EMV LABORATORIOS Y CONSTRUCCIÓN E.I.R.L.

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, ENSAYO DE MATERIALES, CONCRETO Y PAVIMENTOS  
LABORATORIO QUÍMICO DE SUELOS Y AGUAS  
OBRAS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA

### COMPACTACION DE SUELOS EN LABORATORIO UTILIZANDO UNA ENERGIA MODIFICADA (PROCTOR MODIFICADO) (MTC E115)

Tesis	Estabilización del suelo de la subrasante usando el relave minero de Ticapampa en la carretera EMP PE 3N (Catac) - Tunel Kahuish - Chavin de Huantar - San Marcos EMP. PE - 14A (Succha), Ancash	Fecha : 21-02-19
Tesista	BIC. Jesus Miguel Romero Flores	Muestreado por : Interesado
Lugar	Recuay - Ancash	Técnico : Y.D.T

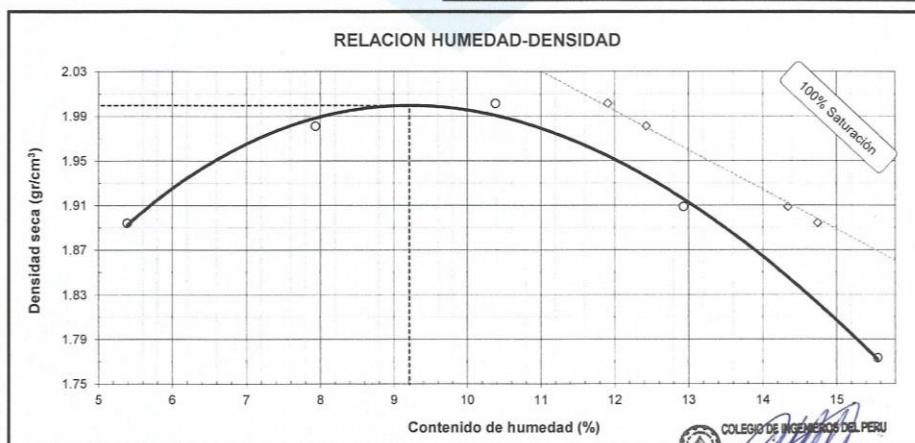
#### DATOS DE LA MUESTRA

Cantera	:-	Muestra : mab-01	Progresiva	: 62+540
Calicata	C-02+5%Relave		Clasif. (SUCS)	: SC
Material	Sub-rasante Est.		Clasif. (AASHTO)	: A-6(4)

PROCEDIMIENTO DE COMPACTACION:	A	Método de Preparación :	Húmedo	Molde N° :	04
Pisón:	Manual	Gravedad Especifica (Gs) :	2.63	Tamiz N° :	# 4
Golpes por capa:	25	Capas :	Cinco	P <sub>c</sub> (%) :	17.59

Masa suelo húmedo + molde	gr	3810.2	3943.4	4010.1	3959.5	3859.8
Masa del molde	gr	1938.0	1938.0	1938.0	1938.0	1938.0
Peso suelo húmedo compactado	gr	1872.2	2005.4	2072.1	2021.5	1921.8
Volumen del molde	cm <sup>3</sup>	937.9	937.9	937.9	937.9	937.9
Densidad húmeda compactada	gr/cm <sup>3</sup>	1.996	2.138	2.209	2.155	2.049
Cálculo Contenido de Humedad						
Masa del suelo húmedo+ recip.	gr	215.40	219.76	271.77	239.23	212.25
Masa del suelo seco + recipiente	gr	206.44	206.43	248.29	214.41	188.57
Masa del recipiente	gr	40.18	38.40	22.12	22.43	36.39
Masa del agua	gr	8.96	13.33	23.48	24.82	23.68
Masa del suelo seco	gr	166.26	168.03	226.17	191.98	152.18
Contenido de Humedad	%	5.39	7.93	10.38	12.93	15.56
Densidad seca compactada	gr/cm <sup>3</sup>	1.89	1.98	2.00	1.91	1.77

Densidad Seca Compactada Máxima (gr/cm <sup>3</sup> ) $\gamma_d$	2.00
Peso Unitario Seco Compactado (kN/m <sup>3</sup> ) $\gamma_d$	19.6
Humedad óptima (%)	9.21



Observaciones:

Laboratorio: Prolongación Caraz N° 1019 - Huaraz

Jr. Ramón Castilla N° 939 - Huaraz - Teléfono (043) 422315 Celular 944-931238 - E-mail: emv.laboratorio@gmail.com

**Ing. Elio Alejandro Milla Vergara**  
 INGENIERO CIVIL  
 REG. O.P.N. 14332



**EMV LABORATORIOS Y CONSTRUCCIÓN E.I.R.L.**  
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, ENSAYO DE MATERIALES, CONCRETO Y PAVIMENTOS  
 LABORATORIO QUÍMICO DE SUELOS Y AGUAS  
 OBRAS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA

**CBR (Relación de soporte de California) DE SUELOS EN EL LABORATORIO**  
 (MTC E 132)

Tesis	: Estabilización del suelo de la subrasante usando el relave minero de Ticapampa en la carretera EMP PE 3N (Catac) - Tunel Kahuish - Chavin de Huantar - San Marcos EMP, PE - 14A (Succha), Ancash	Fecha de Ensayo	: 22/02/2019
Tesista	: BIC, Jesus Miguel Romero Flores	Muestreado por	: Interesado
Lugar	: Recuay - Ancash	Técnico	: Y.D.T

DATOS DE LA MUESTRA			
Calicata	: C-02+5%Relave	Progresiva	: 62+540
Muestra	: mab-01	Clasif. (SUCS)	: SC
Material	: Sub-rasante Est.	Clasif. (AASHTO)	: A-6(4)

**PREPARACIÓN DEL ESPECIMEN (COMPACTACION)**

Compactación	: Modificado	Método	: A				
Molde N°		4	5	6			
Capas N°		5	5	5			
Golpes por capa N°		55	26	12			
Condición de la muestra		NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Peso de molde + Suelo húmedo (g)		12212.2	12357.1	11782.2	11981.6	11666.4	11964.3
Peso de molde (g)		7546.0	7546.0	7324.6	7324.6	7290.6	7290.6
Peso del suelo húmedo (g)		4666.2	4811.1	4457.6	4657.0	4375.8	4673.7
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )		2113.9	2113.9	2120.4	2120.4	2115.5	2115.5
Peso Unitario húmedo (g/cm <sup>3</sup> )		2.21	2.28	2.10	2.20	2.07	2.21
Contenido de Humedad							
Peso suelo húmedo + recipiente (g)		240.32	219.04	228.52	213.06	221.04	231.38
Peso suelo seco + recipiente (g)		219.84	197.35	208.92	190.71	202.16	201.78
Peso del recipiente (g)		22.50	22.50	22.12	23.98	23.26	24.15
Peso de agua (g)		20.48	21.69	19.60	22.35	18.88	29.60
Peso de suelo seco (g)		197.34	174.85	186.80	166.73	178.90	177.63
Contenido de humedad (%)		10.38	12.40	10.49	13.40	10.55	16.66
Peso Unitario seco (g/cm <sup>3</sup> )		2.00	2.02	1.90	1.94	1.87	1.89

Datos del Ensayo Proctor Modificado      Peso Unitario Seco = 2.000 gr/cm<sup>3</sup>      C.H.O. = 9.21 %

**INMERSIÓN**

Sobrecarga de saturación =		4.54 Kg									
FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
				mm	%		mm	%		mm	%
22/02/2019	12:40	0	0.000	0.000	0.0	0.000	0.000	0.0	0.000	0.000	0.0
23/02/2019	12:40	24	0.120	0.005	0.0	0.200	0.008	0.0	0.250	0.010	0.0
24/02/2019	12:05	48	0.350	0.014	0.0	0.400	0.016	0.0	0.490	0.019	0.0
25/02/2019	11:50	72	0.400	0.016	0.0	0.520	0.020	0.0	0.605	0.024	0.0
26/02/2019	11:40	96	0.614	0.024	0.0	0.698	0.027	0.0	0.756	0.030	0.0

**PENETRACION**

Sobrecarga de penetración =		4.54 Kg											
PENETRACION mm	CARGA STAND. kg/cm2	MOLDE N°				MOLDE N°				MOLDE N°			
		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION	
		Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%
0.000		0	0			0	0			0	0		
0.625		8	59.6			7	56.0			6	52.5		
1.250		14	81.1			13	77.5			12	73.9		
1.875		23	113.3			22	109.7			14	81.1		
2.540	70.31	33	149.0	145.9	10.6	30	138.3	137.7	10.0	15	84.6	107.6	7.8
5.080	105.46	54	224.2	226.7	10.9	50	209.9	212.1	10.2	42	181.2	166.3	8.0
7.500		67	270.7			61	249.2			46	195.6		
10.000		78	310.0			70	281.4			48	202.7		
12.500		90	353.0			79	313.6			52	217.0		


 COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERU  
 Ing. *Elio Alejandro Milla Vergara*  
 INGENIERO CIVIL  
 REG. CIP N° 42832

Laboratorio: Prolongación Caraz N° 1019 - Huaraz  
 Jr. Ramón Castilla N° 939 - Huaraz - Teléfono (043) 422315 Celular 944-931238 - E-mail: emv.laboratorio@gmail.com

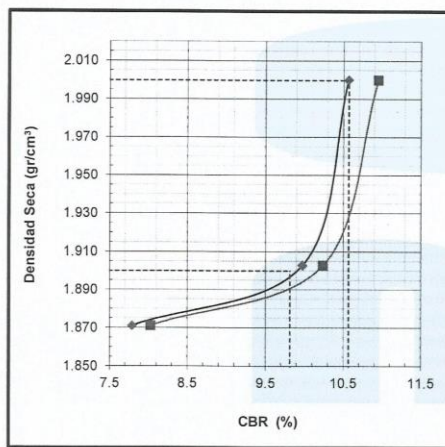


**CBR (Relación de soporte de California) DE SUELOS EN EL LABORATORIO**  
 (MTC E 132)

Tesis : Estabilización del suelo de la subrasante usando el relave minero de Ticapampa en la carretera EMP PE 3N (Catac) - Tunel Kahuish - Chavin de Huantar - San Marcos  
 Fecha : 26/02/2019  
 Tesista : BIC. Jesus Miguel Romero Flores  
 Muestreado por : Interesado  
 Lugar : Recuay - Ancash  
 Técnico : Y.D.T

**DATOS DE LA MUESTRA**

Calicata : C-02+5%Relave Progresiva : 62+540  
 Muestra : mab-01 Clasif. (SUCS) : SC  
 Material : Sub-rasante Est. Clasif. (AASHTO) : A-6(4)

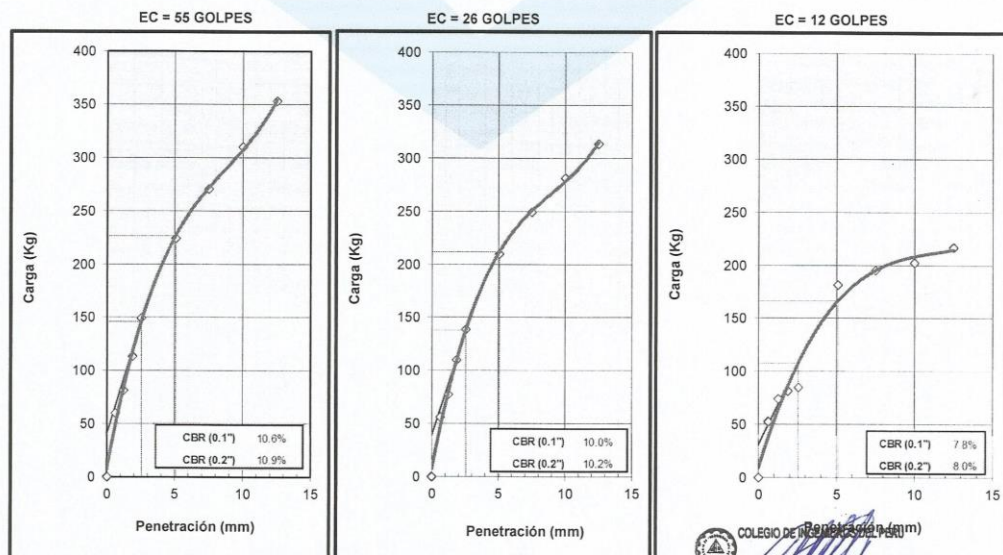


METODO DE COMPACTACION : ASTM D1557  
 MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm3) : 2.00  
 OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%) : 9.21  
 95% MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm3) : 1.90

C.B.R. al 100% de M.D.S. (%)	0.1":	10.6	0.2":	11.0
C.B.R. al 95% de M.D.S. (%)	0.1":	9.8	0.2":	10.1

**RESULTADOS:**  
 Valor de C.B.R. al 100% de la M.D.S. = 10.6 (%)  
 Valor de C.B.R. al 95% de la M.D.S. = 9.8 (%)

**OBSERVACIONES:**



COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERU  
 Ing. Elio Alejandro Milla Vergara  
 INGENIERO CIVIL  
 REG. CIP N° 42332



**B.7. CALICATA N°2 – SUELO DE LA SUBRASANTE + 10% DEL RELAVE MINERO DE TICAPAMPA.**



**EMV LABORATORIOS Y CONSTRUCCIÓN E.I.R.L.**  
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, ENSAYO DE MATERIALES, CONCRETO Y PAVIMENTOS  
 LABORATORIO QUÍMICO DE SUELOS Y AGUAS  
 OBRAS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA

**HOJA RESUMEN - ENSAYOS ESTANDAR - CLASIFICACIÓN SUCS Y AASTHO (MTC ANEXO 1)**

Tesis : Estabilización del suelo de la subrasante usando el relave minero de Ticapampa en la carretera EMP PE 3N (Catac) - Tunel Kahuish - Chavin de Huantar - San Marcos EMP. PE - 14A (Succha), Ancash  
 Tesista : BIC. Jesús Miguel Romero Flores  
 Lugar : Recuay - Ancash  
 Fecha : 23-12-18  
 Muestreado por : Interesado  
 Técnico : Y.D.T

DATOS DE LA MUESTRA	Progresiva	62+540			
	Cantera	--			
	Calicata	C2+10%relave			
	Profundidad	--			
Porcentaje de material que pasa la malla de porción de material < 3"	3"	100.00			
	2"	100.00			
	1 1/2"	100.00			
	1"	98.82			
	3/4"	93.79			
	3/8"	87.79			
	# 4	83.33			
	# 10	78.27			
	# 20	76.99			
	# 40	74.52			
	# 60	71.63			
# 140	54.90				
# 200	49.74				
Coef. de Uniformidad Cu		--			
Coef. de Curvatura Cc		--			
Porcentaje de Material	Grava	16.67			
	Arena	33.59			
	Finos	49.74			
Mitad de Fracción Gruesa		25.13			
Limites de	L.L.	28.00			
	L.P.	19.00			
Consistencia	I.P.	9.00			
Humedad Natural (%)		4.01			
Indice de Grupo	IG - LL	2.06			
	IG - IP	-0.35			
	Indice de Grupo	2			
Clasificación AASTHO		A-4(2)			
Clasificación SUCS		SC			
Descripción		Arena arcillosa con grava			

COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERU  
  
 Ing. Elio Alejandro Milla Vergara  
 INGENIERO CIVIL  
 REG. CIP N° 42632

Laboratorio: Prolongación Caraz N° 1019 - Huaraz  
 Jr. Ramón Castilla N° 939 - Huaraz - Teléfono (043) 422315 Celular 944-931238 - E-mail: emv.laboratorio@gmail.com



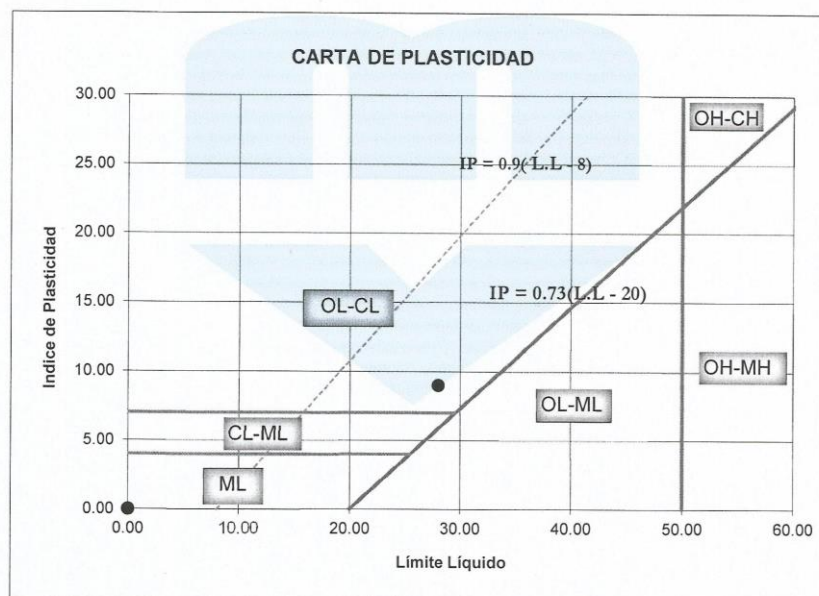
## EMV LABORATORIOS Y CONSTRUCCIÓN E.I.R.L.

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, ENSAYO DE MATERIALES, CONCRETO Y PAVIMENTOS  
LABORATORIO QUÍMICO DE SUELOS Y AGUAS  
OBRAS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA

### HOJA RESUMEN - ENSAYOS ESTANDAR - CLASIFICACIÓN SUCS Y AASHTO (MTC ANEXO 1)

#### UBICACIÓN DE PUNTOS EN LA CARTA DE PLASTICIDAD

Proyecto	: Estabilización del suelo de la subrasante usando el relave minero de Ticapampa en la carretera EMP PE 3N (Catac) - Tunel Kahuish - Chavin de Huantar - San Marcos EMP. PE - 14A (Succha), Ancash		
Solicita	: BIC. Jesús Miguel Romero Flores	Fecha	: 23-12-18
Lugar	: Recuay - Ancash	Muestreado por	: Interesado
		Técnico	: Y.D.T
DATOS DE LA MUESTRA			
Cantera	: -.-	Progresiva	: 62+540
Calicata	: C2+10%relave	Muestra	: mab-01
		Material	: Sub-rasante Es
		Profundidad	: -.-



COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERU  
Ing. Alejandro Milla Vergara  
INGENIERO CIVIL  
REG. C.I.P. N° 42832



## EMV LABORATORIOS Y CONSTRUCCIÓN E.I.R.L.

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, ENSAYO DE MATERIALES, CONCRETO Y PAVIMENTOS  
LABORATORIO QUÍMICO DE SUELOS Y AGUAS  
OBRAS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA

### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO (MTC E 107)

Tesis : Estabilización del suelo de la subrasante usando el relave minero de Ticapampa en la carretera EMP PE 3N (Catac) - Tunel Kahuish - Chavin de Huantar - San Marcos  
EMP. PE - 14A (Succha), Ancash

Tesista : BIC. Jesús Miguel Romero Flores  
Lugar : Recuay - Ancash

Fecha : 05-03-19  
Muestreado por : Interesado  
Técnico : Y.D.T

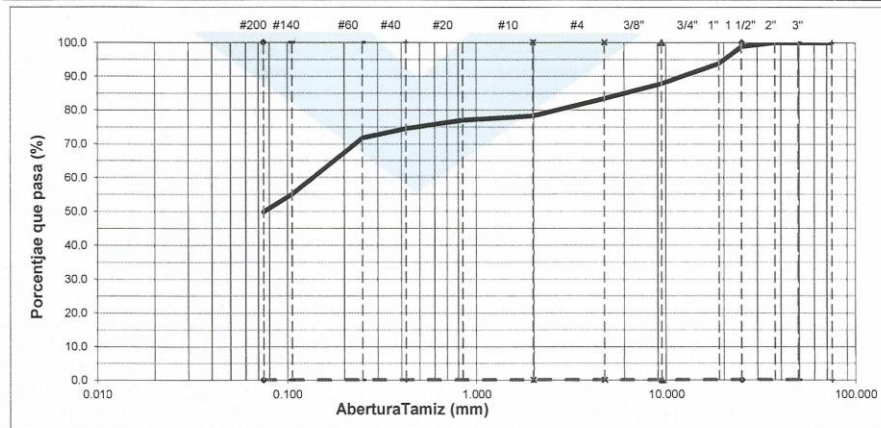
#### DATOS DE LA MUESTRA

Cantera : -- Progresiva : 62+540 Material : Sub-rasante Est.  
Calicata : C2+10%relave Muestra : mab-01 Tamaño Máximo: 1 1/2"

#### DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA

Masa Inicial Seca (gr) = 2710.78 Porción de masa que pasa tamiz N° 10 (gr) = 400.6  
Masa Lavada y Seca (gr) = 1362.46 Masa de Material Grosso (gr) = 588.99  
Masa Retenido 3"(gr) = 0.00 % que pasa N° 200 = 49.74

Abertura de Tamices		RETENIDO EN CADA TAMIZ		PORCENTAJE ACUMULADO		Especificación EG 2013
ASTM	mm	Masa (gr)	%	Retenido	Que pasa	
3"	75.000	0.00	0.00	0.0	100.0	
2"	50.000	0.00	0.00	0.0	100.0	
1 1/2"	37.500	0.00	0.00	0.0	100.0	
1"	25.000	32.00	1.18	1.2	98.8	
3/4"	19.000	136.30	5.03	6.2	93.8	
3/8"	9.500	162.70	6.00	12.2	87.8	
# 4	4.750	120.80	4.46	16.7	83.3	
# 10	2.000	137.19	5.06	21.7	78.3	
# 20	0.850	6.55	1.28	23.0	77.0	
# 40	0.425	12.65	2.47	25.5	74.5	
# 60	0.250	14.77	2.89	28.4	71.6	
# 140	0.106	85.66	16.74	45.1	54.9	
# 200	0.075	26.40	5.16	50.3	49.7	
< 200	Fondo	254.56	49.74	100.0	0.0	



% GRAVA	16.67	% Gruesa :	6.21	D60 (mm) =	0.150
		% Fina :	10.46	D30 (mm) =	0.000
% ARENA	33.59	% Gruesa :	5.06	D10 (mm) =	0.000
		% Media :	3.75	Coef. Unif. (Cu) =	--
		% Fina :	24.78	Coef. Conc. (Cc) =	--
% FINOS	49.74				

**Ing. Alejandro Milla Vergara**  
 INGENIERO CIVIL  
 REG. CIP N° 42832

Laboratorio: Prolongación Caraz N° 1019 - Huaraz

Jr. Ramón Castilla N° 939 - Huaraz - Teléfono (043) 422315 Celular 944-931238 - E-mail: emv.laboratorio@gmail.com



## EMV LABORATORIOS Y CONSTRUCCIÓN E.I.R.L.

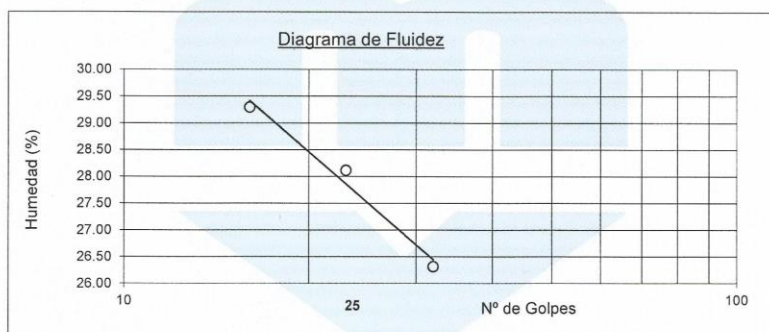
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, ENSAYO DE MATERIALES, CONCRETO Y PAVIMENTOS  
LABORATORIO QUÍMICO DE SUELOS Y AGUAS  
OBRAS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA

### LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO DE LOS SUELOS E INDICE DE PLASTICIDAD (MTC E 110 y MTC E 111)

Tesis	: Estabilización del suelo de la subrasante usando el relave minero de Ticapampa en la carretera EMP PE 3N (Catac) - Tunel Kahuish - Chavin de Huantar - San Marcos EMP. PE - 14A (Succha), Ancash		
Tesista	: BIC. Jesús Miguel Romero Flores	Fecha	: 05/03/2019
Lugar	: Recuay - Ancash	Muestreado por	: Interesado
DATOS DE LA MUESTRA			
Cantera	: --	Progresiva	: 62+540
Calicata	: C2+10%relave	Muestra	: mab-01
		Material	: Sub-rasante Est.
		Profundidad	: --

#### DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO

N° de golpes	16	23	32
P.Suelo Húmedo+Rec.	22.25	21.89	23.12
P.Suelo Seco+Rec.	19.06	18.93	19.91
Peso del Recipiente	8.17	8.40	7.71
Peso Suelo Seco	10.89	10.53	12.20
Peso del Agua	3.19	2.96	3.21
C. de Humedad %	29.29	28.11	26.31



#### DETERMINACION DEL LIMITE PLASTICO

P.Suelo Húmedo+Rec.	21.26	22.14
P.Suelo Seco+Rec.	20.29	21.20
Peso del Recipiente	15.06	16.14
Peso Suelo Seco	5.23	5.06
Peso del Agua	0.97	0.94
C. de Humedad %	18.55	18.58

Límite Líquido = 28.0

Límite Plástico = 19.0

Índice Plasticidad = 9.0

COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERU  
 Ing. Elio Alejandro Milla Vergara  
 INGENIERO CIVIL  
 REG. CIP N° 42832

Laboratorio: Prolongación Caraz N° 1019 - Huaraz

Jr. Ramón Castilla N° 939 - Huaraz - Teléfono (043) 422315 Celular 944-931238 - E-mail: emv.laboratorio@gmail.com



**GRAVEDAD ESPECIFICA**  
(MTC E 206)

Tesis	: Estabilización del suelo de la subrasante usando el relave minero de Ticapampa en la carretera EMP PE 3N (Catac) - Tunel Kahuish - Chavin de Huantar - San Marcos EMP. PE - 14A (Succha), Ancash		
Tesista	: BIC. Jesús Miguel Romero Flores	Fecha	: 23-12-18
Lugar	: Recuay - Ancash	Muestreado por	: Interesado
		Tecnico	: Y.D.T
<b>DATOS DE LA MUESTRA</b>			
Cantera	: -.-	Progresiva	: 62+540
Calicata	: C2+10%relave	Muestra	: mab-01
Material	: Sub-rasante Est.	Profundidad	: -.-

Agregado		GRUESO	GRUESO
Tamaño máximo de la muestra		1 1/2"	1 1/2"
Tipo de frasco utilizado		Cesta	Cesta
Masa del frasco dentro del agua (gr)	(A)	1000.00	1000.00
Masa de la muestra saturada superficialmente seca (gr)	(B)	1297.98	1207.20
Masa de la muestra saturada dentro del agua + frasco (gr)	(C)	1805.23	1746.82
Masa de la muestra seca (gr)	(D)	1275.00	1179.10
Masa de la muestra saturada dentro del agua (gr)	(E)	805.23	746.82
Gravedad Especifica B/(B-E)		2.63	2.62
<b>Gravedad Especifica Promedio</b>		<b>2.63</b>	
Gravedad Especifica Aparente, $Gea = D/(D - C)$		2.71	2.73
Densidad Aparente, $Da = 0.9975D/(D-E)$		2.71	2.72
<b>Densidad Aparente Promedio, Da</b>		<b>2.71</b>	

Observación:

  
Ing. *Eljo Alejandro Milla Vergara*  
INGENIERO CIVIL  
REG. C.P. N° 42832



## EMV LABORATORIOS Y CONSTRUCCIÓN E.I.R.L.

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, ENSAYO DE MATERIALES, CONCRETO Y PAVIMENTOS  
LABORATORIO QUÍMICO DE SUELOS Y AGUAS  
OBRAS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA

### COMPACTACION DE SUELOS EN LABORATORIO UTILIZANDO UNA ENERGIA MODIFICADA (PROCTOR MODIFICADO) (MTC E115)

Tesis	: Estabilización del suelo de la subrasante usando el relave minero de Ticapampa en la carretera EMP PE 3N (Catac) - Tunel Kahuish - Chavin de Huantar - San Marcos	Fecha : 21-02-19
	: EMP. PE - 14A (Succha), Ancash	
Tesista	: BIC. Jesús Miguel Romero Flores	Muestreado por : Interesado
Lugar	: Recuay - Ancash	Técnico : Y.D.T

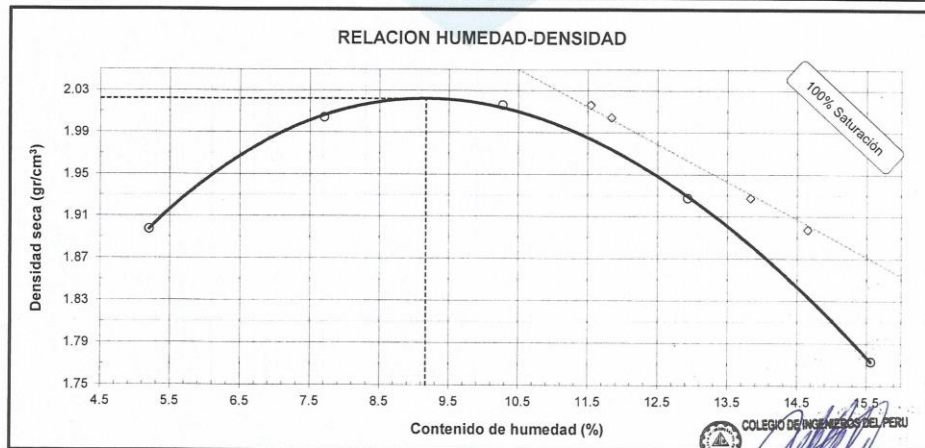
#### DATOS DE LA MUESTRA

Cantera	: --	Progresiva	: 62+540
Calicata	: C2+10%relave	Muestra	: mab-01
Material	: Sub-rasante Est.	Clasif. (SUCS)	: SC
		Clasif. (AASHTO)	: A-4(2)

PROCEDIMIENTO DE COMPACTACION:	A	Método de Preparación:	Húmedo	Molde N°:	04
Pisón:	Manual	Gravedad Específica (Gs):	2.63	Tamiz N°:	# 4
Golpes por capa:	25	Capas:	Cinco	P <sub>c</sub> (%):	16.67

Masa suelo húmedo + molde	gr	3810.2	3962.7	4023.3	3979.5	3859.8
Masa del molde	gr	1938.0	1938.0	1938.0	1938.0	1938.0
Peso suelo húmedo compactado	gr	1872.2	2024.7	2085.3	2041.5	1921.8
Volumen del molde	cm <sup>3</sup>	937.9	937.9	937.9	937.9	937.9
Densidad húmeda compactada	gr/cm <sup>3</sup>	1.996	2.159	2.223	2.177	2.049
Cálculo Contenido de Humedad						
Masa del suelo húmedo+ recip.	gr	215.40	241.85	256.78	239.23	212.25
Masa del suelo seco + recipiente	gr	206.74	226.16	235.03	214.41	188.57
Masa del recipiente	gr	40.18	22.50	23.26	22.43	36.39
Masa del agua	gr	8.66	15.69	21.75	24.82	23.68
Masa del suelo seco	gr	166.56	203.66	211.77	191.98	152.18
Contenido de Humedad	%	5.20	7.70	10.27	12.93	15.56
Densidad seca compactada	gr/cm <sup>3</sup>	1.90	2.00	2.02	1.93	1.77

Densidad Seca Compactada Máxima (gr/cm <sup>3</sup> ) $\gamma_d$	2.02
Peso Unitario Seco Compactado (kN/m <sup>3</sup> ) $\gamma_d$	19.8
Humedad óptima (%)	9.17



Observaciones:

Laboratorio: Prolongación Caraz N° 1019 - Huaraz

Jr. Ramón Castilla N° 939 - Huaraz - Teléfono (043) 422315 Celular 944-931238 - E-mail: emv.laboratorio@gmail.com

**Ing. Elio Alejandro Millán Vergara**  
 INGENIERO CIVIL  
 REG. CIP N° 42832



**EMV LABORATORIOS Y CONSTRUCCIÓN E.I.R.L.**  
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, ENSAYO DE MATERIALES, CONCRETO Y PAVIMENTOS  
 LABORATORIO QUÍMICO DE SUELOS Y AGUAS  
 OBRAS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA

**CBR (Relación de soporte de California) DE SUELOS EN EL LABORATORIO**  
 (MTC E 132)

Tesis	: Estabilización del suelo de la subrasante usando el relave minero de Ticapampa en la carretera EMP PE 3N (Catac) - Tunel Kahuish - Chavin de Huantar - San Marcos EMP. PE - 14A (Succha), Ancash	Fecha de Ensayo	: 22/02/2019
Tesista	: BIC. Jesús Miguel Romero Flores	Muestreado por	: Interesado
Lugar	: Recuay - Ancash	Técnico	: Y.D.T

DATOS DE LA MUESTRA			
Calicata	: C2+10%relave	Progresiva	: 62+540
Muestra	: mab-01	Clasif. (SUCS)	: SC
Material	: Sub-rasante Est.	Clasif. (AASHTO)	: A-4(2)

PREPARACIÓN DEL ESPECIMEN (COMPACTACION)						
Compactación	: Modificado	Método	: A			
Molde N°		7	8	9		
Capas N°		5	5	5		
Golpes por capa N°		55	26	12		
Condición de la muestra		NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO
Peso de molde + Suelo húmedo (g)		12079.9	12238.9	11879.8	12087.0	11775.0
Peso de molde (g)		7400.8	7400.8	7421.5	7421.5	7563.8
Peso del suelo húmedo (g)		4679.1	4838.1	4458.3	4665.5	4211.2
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )		2139.9	2139.9	2117.6	2117.6	2126.7
Peso Unitario húmedo (g/cm <sup>3</sup> )		2.19	2.26	2.11	2.20	1.98
		Contenido de Humedad				
Peso suelo húmedo + recipiente (g)		251.59	199.72	229.86	213.98	197.97
Peso suelo seco + recipiente (g)		229.97	181.65	211.90	191.65	182.36
Peso del recipiente (g)		22.43	36.58	41.85	35.58	36.58
Peso de agua (g)		21.62	18.07	17.96	22.33	15.61
Peso de suelo seco (g)		207.54	145.07	170.05	156.07	145.78
Contenido de humedad (%)		10.42	12.46	10.56	14.31	10.71
Peso Unitario seco (g/cm <sup>3</sup> )		1.98	2.01	1.90	1.93	1.79
Datos del Ensayo Proctor Modificado		Peso Unitario Seco = 2.022 gr/cm <sup>3</sup>		C.H.O. = 9.17 %		

INMERSION											
Sobrecarga de saturación = 4.54 Kg											
FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
				mm	%		mm	%		mm	%
22/02/2019	12:40	0	0.000	0.000	0.0	0.000	0.000	0.0	0.000	0.000	0.0
23/02/2019	12:40	24	0.200	5.000	3.9	0.250	6.250	4.9	0.360	9.000	7.1
24/02/2019	12:05	48	0.300	7.500	5.9	0.390	9.750	7.7	0.450	11.250	8.9
25/02/2019	11:50	72	0.400	10.000	7.9	0.480	12.000	9.4	0.550	13.750	10.8
26/02/2019	11:40	96	0.840	21.000	16.5	0.950	23.750	18.7	1.640	41.000	32.3

PENETRACION													
Sobrecarga de penetración = 4.54 Kg													
PENETRACION	CARGA STAND.	MOLDE N°				MOLDE N°				MOLDE N°			
		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION	
mm	kg/cm <sup>2</sup>	Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%
0.000		0	0			0	0			0	0		
0.625		10	66.8			8	59.6			7	56.0		
1.250		19	99.0			16	88.2			16	88.2		
1.875		28	131.2			27	127.6			23	113.3		
2.540	70.31	36	159.8	165.7	12.0	37	163.4	160.0	11.6	25	120.4	134.4	9.7
5.080	105.46	65	263.5	264.5	12.8	59	242.1	246.4	11.9	48	202.7	201.6	9.7
7.500		83	327.9			73	292.1			56	231.3		
10.000		99	385.2			84	331.5			61	249.2		
12.500		118	453.1			98	381.6			66	267.1		


 COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERU  
 Ing. Elio Alejandro Milla Vergara  
 INGENIERO CIVIL  
 REG. CIP N° 42832

Laboratorio: Prolongación Caraz N° 1019 - Huaraz  
 Jr. Ramón Castilla N° 939 - Huaraz - Teléfono (043) 422315 Celular 944-931238 - E-mail: emv.laboratorio@gmail.com



## EMV LABORATORIOS Y CONSTRUCCIÓN E.I.R.L.

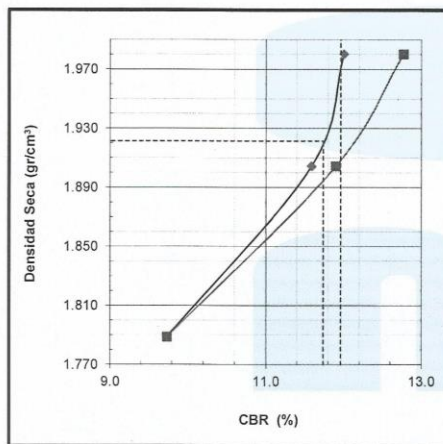
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, ENSAYO DE MATERIALES, CONCRETO Y PAVIMENTOS  
LABORATORIO QUÍMICO DE SUELOS Y AGUAS  
OBRAS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA

### CBR (Relación de soporte de California) DE SUELOS EN EL LABORATORIO (MTC E 132)

Tesis :	Estabilización del suelo de la subrasante usando el relave minero de Ticapampa en la carretera EMP PE 3N (Catac) - Tunel Kahuish - Chavin de Huantar - San Marcos EMP. PE - 14A (Succha), Ancash	Fecha : 26/02/2019
Tesista :	BIC. Jesús Miguel Romero Flores	Muestreado por : Interesado
Lugar :	Recuay - Ancash	Técnico : Y.D.T

#### DATOS DE LA MUESTRA

Calicata :	C2+10%relave	Progresiva :	62+540
Muestra :	mab-01	Clasif. (SUCS) :	SC
Material :	Sub-rasante Est.	Clasif. (AASHTO) :	A-4(2)



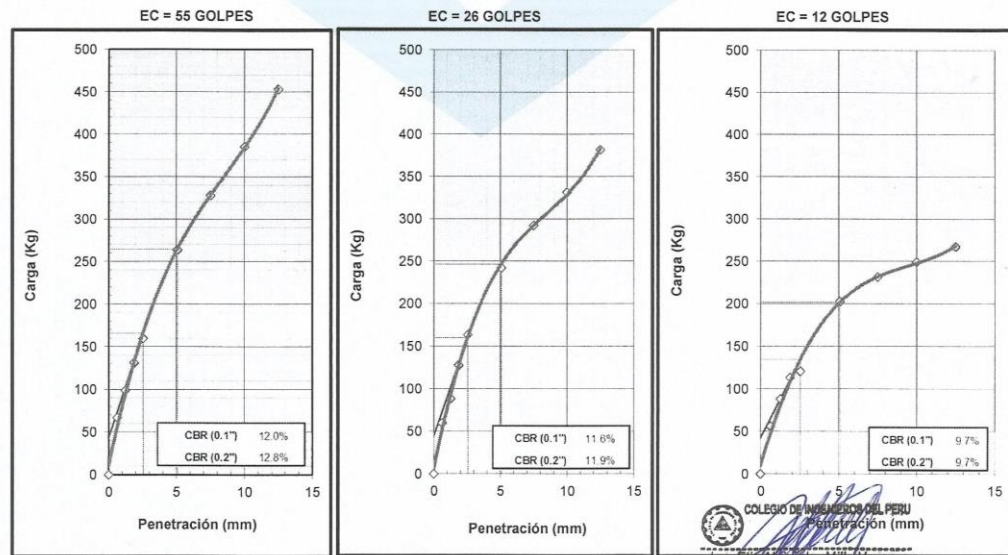
METODO DE COMPACTACION :	ASTM D1557
MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm3) :	2.02
OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%) :	9.17
95% MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm3) :	1.92

C.B.R. al 100% de M.D.S. (%)	0.1":	12.0	0.2":	13.1
C.B.R. al 95% de M.D.S. (%)	0.1":	11.7	0.2":	12.1

**RESULTADOS:**

Valor de C.B.R. al 100% de la M.D.S.	=	12.0 (%)
Valor de C.B.R. al 95% de la M.D.S.	=	11.7 (%)

**OBSERVACIONES:**



Laboratorio: Prolongación Caraz N° 1019 - Huaraz

Jr. Ramón Castilla N° 939 - Huaraz - Teléfono (043) 422315 Celular 944-931238 - E-mail: emv.laboratorio@gmail.com

COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERU  
 INGENIERO CIVIL  
 REG. CIP N° 42832



## B.8. CALICATA N°3 – SUELO DE LA SUBRASANTE



**EMV LABORATORIOS Y CONSTRUCCIÓN E.I.R.L.**  
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, ENSAYO DE MATERIALES, CONCRETO Y PAVIMENTOS  
 LABORATORIO QUÍMICO DE SUELOS Y AGUAS  
 OBRAS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA

### HOJA RESUMEN - ENSAYOS ESTANDAR - CLASIFICACIÓN SUCS Y AASHTO (MTC ANEXO 1)

Tesis : Estabilización del suelo de la subrasante usando el relave minero de Ticapampa en la carretera EMP PE 3N (Catac) - Tunel Kahuish - Chavin de Huantar - San Marcos EMP. PE - 14A (Succha), Ancash  
 Tesista : BIC. Jesús Miguel Romero Flores  
 Lugar : Recuay - Ancash  
 Fecha : 23-12-18  
 Muestreado por : Interesado  
 Técnico : Y.D.T

DATOS DE LA MUESTRA	Progresiva	70+120
	Cantera	--
	Calicata	C-03
	Profundidad	--
Porcentaje de material que pasa la malla de porción de material < 3"	3"	100.00
	2"	100.00
	1 1/2"	100.00
	1"	92.58
	3/4"	89.30
	3/8"	86.11
	# 4	81.30
	# 10	76.30
	# 20	69.90
	# 40	61.51
	# 60	55.70
# 140	41.61	
# 200	36.56	
Coef. de Uniformidad Cu		--
Coef. de Curvatura Cc		--
Porcentaje de Material	Grava	18.70
	Arena	44.74
	Finos	36.56
Mitad de Fracción Gruesa		31.72
Limites de	L.L.	25.00
	L.P.	13.00
Consistencia	I.P.	12.00
Humedad Natural (%)		11.68
Indice de Grupo	IG - LL	0.20
	IG - IP	0.43
	Indice de Grupo	1
Clasificación AASTHO		A-6(1)
Clasificación SUCS		SC
Descripción	Arena arcillosa con grava	

COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERU  
  
 Ing. Elio Alejandro Milla Vergara  
 INGENIERO CIVIL  
 REG. CIP N° 49932

Laboratorio: Prolongación Caraz N° 1019 - Huaraz

Jr. Ramón Castilla N° 939 - Huaraz - Teléfono (043) 422315 Celular 944-931238 - E-mail: emv.laboratorio@gmail.com



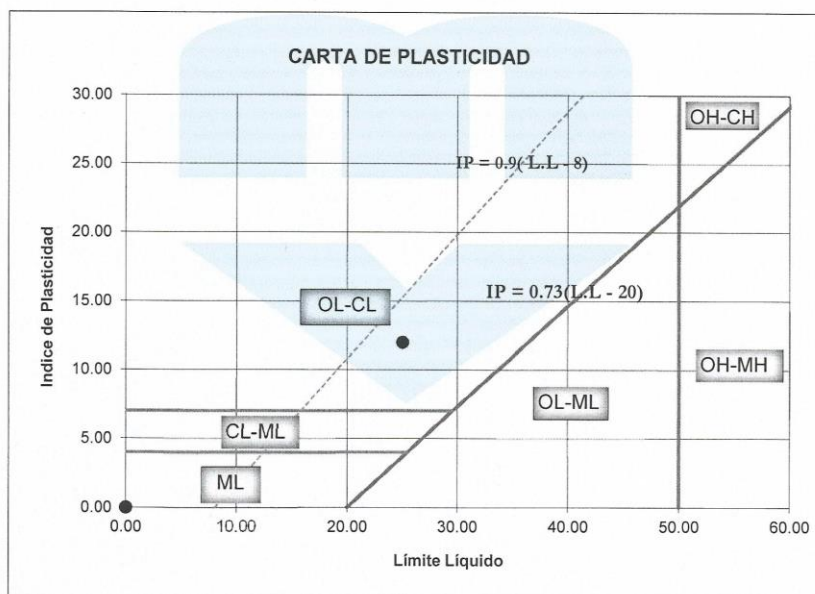
## EMV LABORATORIOS Y CONSTRUCCIÓN E.I.R.L.

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, ENSAYO DE MATERIALES, CONCRETO Y PAVIMENTOS  
LABORATORIO QUÍMICO DE SUELOS Y AGUAS  
OBRAS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA

### HOJA RESUMEN - ENSAYOS ESTANDAR - CLASIFICACIÓN SUCS Y AASHTO (MTC ANEXO 1)

#### UBICACIÓN DE PUNTOS EN LA CARTA DE PLASTICIDAD

Proyecto	: Estabilización del suelo de la subrasante usando el relave minero de Ticapampa en la carretera EMP PE 3N (Catac) - Tunel Kahuish - Chavin de Huantar - San Marcos EMP. PE - 14A (Succha), Ancash	
Solicita	: BIC. Jesús Miguel Romero Flores	Fecha : 23-12-18
Lugar	: Recuay - Ancash	Muestreado por : Interesado Técnico : Y.D.T
DATOS DE LA MUESTRA		
Cantera	: -	Progresiva : 70+120
Calicata	: C-03	Muestra : mab-01
		Material : Sub-rasante Profundidad : -



COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERU  
Ing. Alejandro Milla Vergara  
INGENIERO CIVIL  
REG. CIP N° 42832

Laboratorio: Prolongación Caraz N° 1019 - Huaraz  
Jr. Ramón Castilla N° 939 - Huaraz - Teléfono (043) 422315 Celular 944-931238 - E-mail: emv.laboratorio@gmail.com



## EMV LABORATORIOS Y CONSTRUCCIÓN E.I.R.L.

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, ENSAYO DE MATERIALES, CONCRETO Y PAVIMENTOS  
LABORATORIO QUÍMICO DE SUELOS Y AGUAS  
OBRAS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA

### CONTENIDO DE HUMEDAD DE UN SUELO (MTC E 108)

Proyecto	: Estabilización del suelo de la subrasante usando el relave minero de Ticapampa en la carretera EMP PE 3N (Catac) - Tunel Kahuish - Chavin de Huanter - San Marcos EMP. PE - 14A (Succha), Ancash		
Solicita	: BIC. Jesús Miguel Romero Flores	Fecha	: 23-12-18
Lugar	: Recuay - Ancash	Muestreado por	: Interesado
		Técnico	: Y.D.T
DATOS DE LA MUESTRA			
Cantera	: --	Progresiva	: 70+120
Calicata	: C-03	Muestra	: mab-01
		Material	: Sub-rasante
		Profundidad	: --

DESCRIPCION		M - 1	M - 2
Peso Suelo Húmedo + Contenedor	Mcws	219.09	220.04
Peso Suelo Seco + Contenedor	Mcs	198.69	199.37
Peso Contenedor	Mc	22.12	24.15
Peso Suelo Seco (Mw=Mcws-Mcs)	Mw	176.57	175.22
Peso del Agua (Ms=Mcws-Mc)	Ms	20.40	20.67
Contenido de Humedad (w=Mw/Ms)	w	11.55	11.80
<b>Humedad Promedio (%)</b>		<b>11.68</b>	

COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERU  
  
Ing. Elio Alejandro Milla Vergara  
INGENIERO CIVIL  
REG. C.I.P. N° 42632



## EMV LABORATORIOS Y CONSTRUCCIÓN E.I.R.L.

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, ENSAYO DE MATERIALES, CONCRETO Y PAVIMENTOS  
LABORATORIO QUÍMICO DE SUELOS Y AGUAS  
OBRAS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA

### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO

(MTC E 107)

Tesis : Estabilización del suelo de la subrasante usando el relave minero de Ticapampa en la carretera EMP PE 3N (Catac) - Tunel Kahuish - Chavin de Huantar - San Marcos EMP. PE - 14A (Succha), Ancash  
Tesisista : BIC. Jesús Miguel Romero Flores  
Lugar : Recuay - Ancash  
Fecha : 11-02-19  
Muestreado por : Interesado  
Técnico : Y.D.T

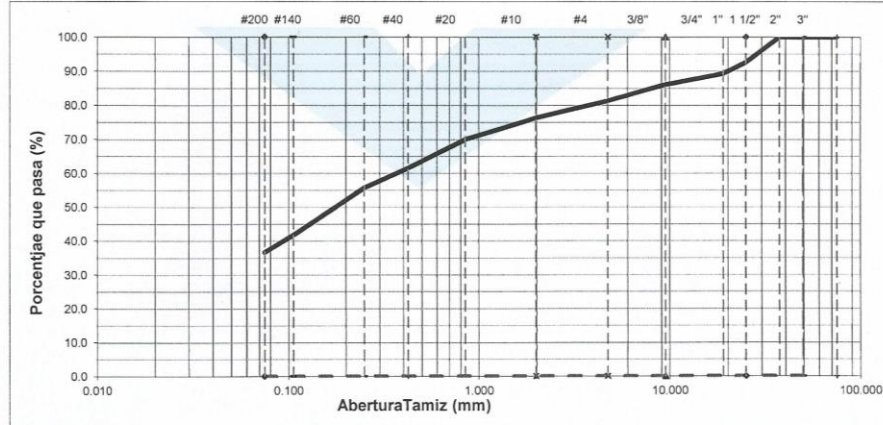
#### DÁTOS DE LA MUESTRA

Cantera : -- Progresiva : 70+120 Material : Sub-rasante  
Calicata : C-03 Muestra : mab-01 Tamaño Máximo: 1 1/2"

#### DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA

Masa Inicial Seca (gr) = 3041.30 Porción de masa que pasa tamiz N° 10 (gr) = 130.0  
Masa Lavada y Seca (gr) = 1929.29 Masa de Material Grueso (gr) = 720.90  
Masa Retenido 3"(gr) = 0.00 % que pasa N° 200 = 36.56

Abertura de Tamices		RETENIDO EN CADA TAMIZ		PORCENTAJE ACUMULADO	
ASTM	mm	Masa (gr)	%	Retenido	Que pasa
3"	75.000	0.00	0.00	0.0	100.0
2"	50.000	0.00	0.00	0.0	100.0
1 1/2"	37.500	0.00	0.00	0.0	100.0
1"	25.000	225.70	7.42	7.4	92.6
3/4"	19.000	99.70	3.28	10.7	89.3
3/8"	9.500	97.00	3.19	13.9	86.1
# 4	4.750	146.20	4.81	18.7	81.3
# 10	2.000	152.30	5.01	23.7	76.3
# 20	0.850	10.90	6.40	30.1	69.9
# 40	0.425	14.30	8.39	38.5	61.5
# 60	0.250	9.90	5.81	44.3	55.7
# 140	0.106	24.00	14.09	58.4	41.6
# 200	0.075	8.60	5.05	63.4	36.6
< 200	Fondo	62.30	36.56	100.0	0.0



% GRAVA	18.70	% Gruesa :	10.70	D60 (mm) =	0.380
		% Fina :	8.00	D30 (mm) =	0.000
% ARENA	44.74	% Gruesa :	5.01	D10 (mm) =	0.000
		% Media :	14.79	Coef. Unif. (Cu) =	--
		% Fina :	24.94	Coef. Conc. (Cc) =	--
% FINOS	36.56				

**Inge. Elio Alejandro Milla Vergara**  
 INGENIERO CIVIL  
 REG. CIP. N° 42632

Laboratorio: Prolongación Caraz N° 1019 - Huaraz

Jr. Ramón Castilla N° 939 - Huaraz - Teléfono (043) 422315 Celular 944-931238 - E-mail: emv.laboratorio@gmail.com



## EMV LABORATORIOS Y CONSTRUCCIÓN E.I.R.L.

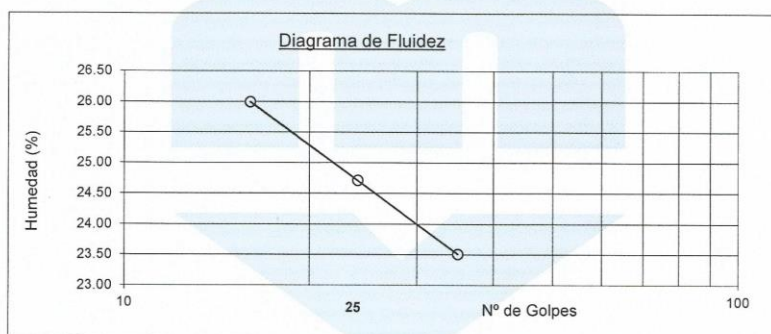
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, ENSAYO DE MATERIALES, CONCRETO Y PAVIMENTOS  
LABORATORIO QUÍMICO DE SUELOS Y AGUAS  
OBRAS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA

### LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO DE LOS SUELOS E INDICE DE PLASTICIDAD (MTC E 110 y MTC E 111)

Tesis	: Estabilización del suelo de la subrasante usando el relave minero de Ticapampa en la carretera EMP PE 3N (Catac) - Tunel Kahuish - Chavin de Huantar - San Marcos EMP. PE - 14A (Succha), Ancash		
Tesista	: BIC. Jesús Miguel Romero Flores	Fecha	: 11/02/2019
Lugar	: Recuay - Ancash	Muestreado por	: Interesado
		Técnico	: Y.D.T
DATOS DE LA MUESTRA			
Cantera	: -.-	Progresiva	: 70+120
Calicata	: C-03	Muestra	: mab-01
		Material	: Sub-rasante
		Profundidad	: -.-

#### DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO

N° de golpes	16	24	35
P.Suelo Húmedo+Rec.	38.57	40.67	39.87
P.Suelo Seco+Rec.	33.98	36.01	35.47
Peso del Recipiente	16.32	17.15	16.75
Peso Suelo Seco	17.66	18.86	18.72
Peso del Agua	4.59	4.66	4.40
C. de Humedad %	25.99	24.71	23.50



#### DETERMINACION DEL LIMITE PLASTICO

P. Suelo Húmedo+Rec.	27.89	27.73
P. Suelo Seco+Rec.	26.55	26.35
Peso del Recipiente	16.14	15.50
Peso Suelo Seco	10.41	10.85
Peso del Agua	1.34	1.38
C. de Humedad %	12.87	12.72

Limite Líquido = 25.0

Limite Plástico = 13.0

Indice Plasticidad = 12.0


 COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERU  
 Ing. Elio Alejandro Milla Vergara  
 INGENIERO CIVIL  
 REG. CIP. N° 42832

Laboratorio: Prolongación Caraz N° 1019 - Huaraz

Jr. Ramón Castilla N° 939 - Huaraz - Teléfono (043) 422315 Celular 944-931238 - E-mail: emv.laboratorio@gmail.com



## EMV LABORATORIOS Y CONSTRUCCIÓN E.I.R.L.

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, ENSAYO DE MATERIALES, CONCRETO Y PAVIMENTOS  
LABORATORIO QUÍMICO DE SUELOS Y AGUAS  
OBRAS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA

### GRAVEDAD ESPECIFICA (MTC E 206)

Tesis	: Estabilización del suelo de la subrasante usando el relave minero de Ticapampa en la carretera EMP PE 3N (Catac) - Tunel Kahuish - Chavin de Huanter - San Marcos EMP. PE - 14A (Succha), Ancash		
Tesista	: BIC. Jesús Miguel Romero Flores	Fecha	: 14-02-19
Lugar	: Recuay - Ancash	Muestreado por	: Interesado
		Tecnico	: Y.D.T
DATOS DE LA MUESTRA			
Cantera	: --	Progresiva	: 70+120
Calicata	: C-03	Muestra	: mab-01
Material	: Sub-rasante	Profundidad	: --

Agregado		GRUESO	GRUESO
Tamaño máximo de la muestra		1 1/2"	1 1/2"
Tipo de frasco utilizado		Cesta	Cesta
Masa del frasco dentro del agua (gr)	(A)	1000.00	1000.00
Masa de la muestra saturada superficialmente seca (gr)	(B)	1278.94	1145.75
Masa de la muestra saturada dentro del agua + frasco (gr)	(C)	1800.00	1714.42
Masa de la muestra seca (gr)	(D)	1264.20	1129.10
Masa de la muestra saturada dentro del agua (gr)	(E)	800.00	714.42
Gravedad Especifica B/(B-E)		2.67	2.66
<b>Gravedad Especifica Promedio</b>		<b>2.66</b>	
Gravedad Especifica Aparente, $G_a = D/(D - C)$		2.72	2.72
Densidad Aparente, $D_a = 0.9975D/(D-E)$		2.72	2.72
<b>Densidad Aparente Promedio, <math>D_a</math></b>		<b>2.72</b>	

Observación:

  
COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERU  
Ing. Alejandro Milla Vergara  
INGENIERO CIVIL  
REG. C.P. N° 42832



## EMV LABORATORIOS Y CONSTRUCCIÓN E.I.R.L.

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, ENSAYO DE MATERIALES, CONCRETO Y PAVIMENTOS  
LABORATORIO QUÍMICO DE SUELOS Y AGUAS  
OBRAS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA

### COMPACTACION DE SUELOS EN LABORATORIO UTILIZANDO UNA ENERGIA MODIFICADA (PROCTOR MODIFICADO) (MTC E115)

Tesis	Estabilización del suelo de la subrasante usando el relave minero de Ticapampa en la carretera EMP PE 3N (Catac) - Tunel Kahuish - Chavin de Huantar - San Marcos EMP. PE - 14A (Succha), Ancash	Fecha : 12-02-19
Tesista	BIC. Jesús Miguel Romero Flores	Muestreado por : Interesado
Lugar	Recuay - Ancash	Técnico : Y.D.T

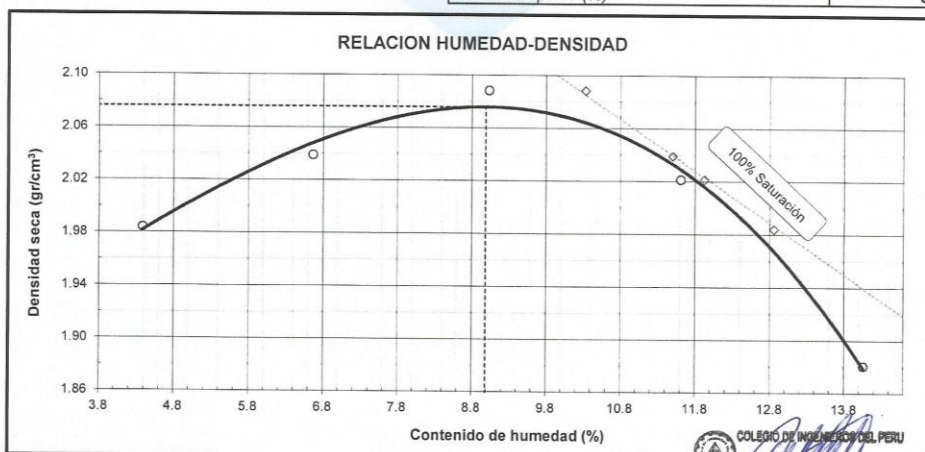
#### DATOS DE LA MUESTRA

Cantera : --	Muestra : mab-01	Progresiva : 70+120
Calicata : C-03		Clasif. (SUCS) : SC
Material : Sub-rasante		Clasif. (AASHTO): A-6(1)

PROCEDIMIENTO DE COMPACTACION: <b>A</b>	Método de Preparación : Húmedo	Molde N° : 04
Pisón: Manual	Gravedad Específica (Gs) : 2.66	Tamiz N° : # 4
Golpes por capa: 25	Capas : Cinco	P <sub>c</sub> (%) : 18.70

Masa suelo húmedo + molde	gr	3880.2	3977.5	4073.5	4053.6	3949.8
Masa del molde	gr	1938.0	1938.0	1938.0	1938.0	1938.0
Peso suelo húmedo compactado	gr	1942.2	2039.5	2135.5	2115.6	2011.8
Volumen del molde	cm <sup>3</sup>	937.9	937.9	937.9	937.9	937.9
Densidad húmeda compactada	gr/cm <sup>3</sup>	2.071	2.175	2.277	2.256	2.145
Cálculo Contenido de Humedad						
Masa del suelo húmedo+ recip.	gr	215.40	219.76	211.26	216.99	212.25
Masa del suelo seco + recipiente	gr	208.04	208.43	196.94	198.78	190.57
Masa del recipiente	gr	40.18	38.40	38.41	41.85	36.39
Masa del agua	gr	7.36	11.33	14.32	18.21	21.68
Masa del suelo seco	gr	167.86	170.03	158.53	156.93	154.18
Contenido de Humedad	%	4.38	6.66	9.03	11.60	14.06
Densidad seca compactada	gr/cm <sup>3</sup>	1.98	2.04	2.09	2.02	1.88

Densidad Seca Compactada Máxima (gr/cm <sup>3</sup> ) $\gamma_d$	2.08
Peso Unitario Seco Compactado (kN/m <sup>3</sup> ) $\gamma_d$	20.4
Humedad óptima (%)	8.99



Observaciones:

Laboratorio: Prolongación Caraz N° 1019 - Huaraz

Jr. Ramón Castilla N° 939 - Huaraz - Teléfono (043) 422315 Celular 944-931238 - E-mail: emv.laboratorio@gmail.com

COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERU  
 Ing. Alejandro Millán Vergara  
 INGENIERO CIVIL  
 REG. CIP N° 42832



**EMV LABORATORIOS Y CONSTRUCCIÓN E.I.R.L.**  
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, ENSAYO DE MATERIALES, CONCRETO Y PAVIMENTOS  
 LABORATORIO QUÍMICO DE SUELOS Y AGUAS  
 OBRAS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA

**CBR (Relación de soporte de California) DE SUELOS EN EL LABORATORIO**  
 (MTC E 132)

Tesis	: Estabilización del suelo de la subrasante usando el relave minero de Ticapampa en la carretera EMP PE 3N (Catac) - Tunel Kahuish - Chavin de Huantar - San Marcos EMP. PE - 14A (Succha), Ancash	Fecha de Ensayo	: 13/02/2019
Tesista	: BIC. Jesús Miguel Romero Flores	Muestreado por	: Interesado
Lugar	: Recuay - Ancash	Técnico	: Y.D.T

DATOS DE LA MUESTRA			
Calicata	: C-03	Progresiva	: 70+120
Muestra	: mab-01	Clasif. (SUCS)	: SC
Material	: Sub-rasante	Clasif. (AASHTO)	: A-6(1)

PREPARACIÓN DEL ESPECIMEN (COMPACTACION)						
Compactación	: Modificado	Método	: A			
Molde N°		1	2	3		
Capas N°		5	5	5		
Golpes por capa N°		55	26	12		
Condición de la muestra		NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO
Peso de molde + Suelo húmedo (g)		12740.9	12867.5	12580.1	12782.9	12348.4
Peso de molde (g)		7929.8	7929.8	7994.1	7994.1	8042.9
Peso del suelo húmedo (g)		4811.1	4937.7	4586.0	4788.8	4305.5
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )		2134.3	2134.3	2123.1	2123.1	2125.7
Peso Unitario húmedo (g/cm <sup>3</sup> )		2.25	2.31	2.16	2.26	2.03
Contenido de Humedad						
Peso suelo húmedo + recipiente (g)		252.81	207.64	254.62	205.62	248.30
Peso suelo seco + recipiente (g)		235.47	191.90	237.00	187.64	231.40
Peso del recipiente (g)		22.50	40.25	21.24	38.41	24.15
Peso de agua (g)		17.34	15.74	17.62	17.98	16.90
Peso de suelo seco (g)		212.97	151.65	215.76	149.23	207.25
Contenido de humedad (%)		8.14	10.38	8.17	12.05	8.15
Peso Unitario seco (g/cm <sup>3</sup> )		2.08	2.10	2.00	2.01	1.87

Datos del Ensayo Proctor Modificado      Peso Unitario Seco = 2.076 gr/cm<sup>3</sup>      C.H.O. = 8.99 %

INMERSION											
Sobrecarga de saturación =			4.54 Kg								
FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
				mm	%		mm	%		mm	%
13/02/2019	12:40	0	0.000	0.000	0.0	0.000	0.000	0.0	0.000	0.000	0.0
14/02/2019	12:40	24	0.049	1.225	1.0	0.065	1.625	1.3	0.070	1.750	1.4
15/02/2019	12:05	48	0.055	1.375	1.1	0.081	2.025	1.6	0.085	2.125	1.7
16/02/2019	11:50	72	0.060	1.500	1.2	0.090	2.250	1.8	0.098	2.450	1.9
17/02/2019	11:40	96	0.062	1.550	1.2	0.091	2.275	1.8	0.099	2.475	1.9

PENETRACION													
Sobrecarga de penetración =			4.54 Kg										
PENETRACION mm	CARGA STAND. kg/cm <sup>2</sup>	MOLDE N°				MOLDE N°				MOLDE N°			
		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION	
		Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%
0.000		0	0			0	0			0	0		
0.625		9	63.2			6	52.5			4	45.3		
1.250		25	120.4			13	77.5			12	73.9		
1.875		48	202.7			28	131.2			24	116.8		
2.540	70.31	77	306.5	338.3	24.5	46	195.6	204.3	14.8	35	156.2	147.7	10.7
5.080	105.46	150	567.6	588.5	28.4	107	413.8	381.9	18.4	55	227.8	233.2	11.3
7.500		198	739.3			137	521.1			69	277.8		
10.000		235	871.7			155	585.5			77	306.5		
12.500		278	1025.6			183	685.7			85	335.1		


 COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERU  
 Ing. Elmer Alejandro Milla Vergara  
 INGENIERO CIVIL  
 REG. CIP N° 42832

Laboratorio: Prolongación Caraz N° 1019 - Huaraz  
 Jr. Ramón Castilla N° 939 - Huaraz - Teléfono (043) 422315 Celular 944-931238 - E-mail: emv.laboratorio@gmail.com





## EMV LABORATORIOS Y CONSTRUCCIÓN E.I.R.L.

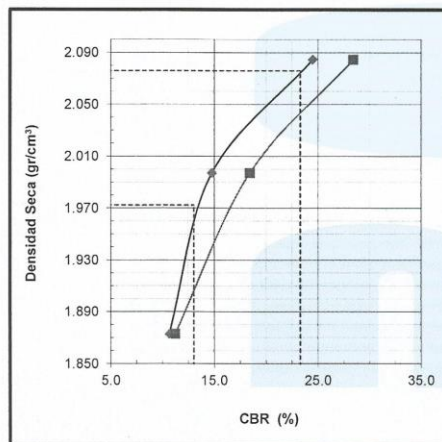
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, ENSAYO DE MATERIALES, CONCRETO Y PAVIMENTOS  
LABORATORIO QUÍMICO DE SUELOS Y AGUAS  
OBRAS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA

### CBR (Relación de soporte de California) DE SUELOS EN EL LABORATORIO (MTC E 132)

Tesis :	Estabilización del suelo de la subrasante usando el relave minero de Ticapampa en la carretera EMP PE 3N (Catac) - Tunel Kahuish - Chavin de Huantar - San Marcos EMP. PE - 14A (Succha), Ancash	Fecha : 17/02/2019
Tesista :	BIC. Jesús Miguel Romero Flores	Muestreado por : Interesado
Lugar :	Recuay - Ancash	Técnico : Y.D.T

#### DATOS DE LA MUESTRA

Calicata :	C-03	Progresiva :	70+120
Muestra :	mab-01	Clasif. (SUCS) :	SC
Material :	Sub-rasante	Clasif. (AASHTO) :	A-6(1)



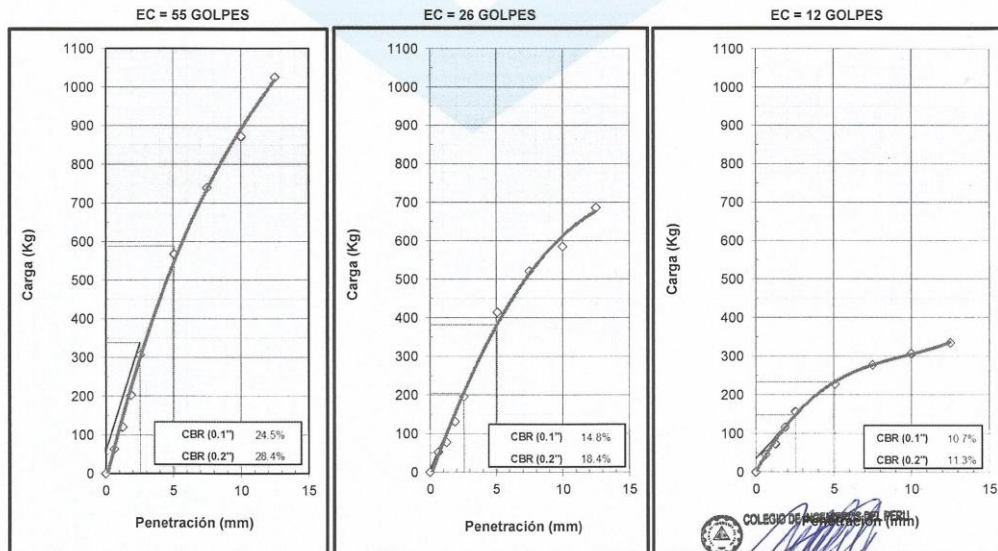
METODO DE COMPACTACION :	ASTM D1557
MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm3) :	2.08
OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%) :	8.99
95% MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm3) :	1.97

C.B.R. al 100% de M.D.S. (%)	0.1":	23.3	0.2":	27.3
C.B.R. al 95% de M.D.S. (%)	0.1":	13.1	0.2":	16.4

**RESULTADOS:**

Valor de C.B.R. al 100% de la M.D.S.	=	23.3 (%)
Valor de C.B.R. al 95% de la M.D.S.	=	13.1 (%)

**OBSERVACIONES:**



Laboratorio: Prolongación Caraz N° 1019 - Huaraz

Jr. Ramón Castilla N° 939 - Huaraz - Teléfono (043) 422315 Celular 944-931238 - E-mail: emv.laboratorio@gmail.com

**Ing. Elio Alejandro Mila Vergara**  
 INGENIERO CIVIL  
 REG. CIP N° 42832

**B.9. CALICATA N°3 – SUELO DE LA SUBRASANTE + 5% DEL RELAVE MINERO DE TICAPAMPA.**



**EMV LABORATORIOS Y CONSTRUCCIÓN E.I.R.L.**  
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, ENSAYO DE MATERIALES, CONCRETO Y PAVIMENTOS  
 LABORATORIO QUÍMICO DE SUELOS Y AGUAS  
 OBRAS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA

**HOJA RESUMEN - ENSAYOS ESTANDAR - CLASIFICACIÓN SUCS Y AASTHO (MTC ANEXO 1)**

Tesis : Estabilización del suelo de la subrasante usando el relave minero de Ticapampa en la carretera EMP PE 3N (Catac) - Tunel Kahuish - Chavin de Huantar - San Marcos EMP. PE - 14A (Succha), Ancash  
 Tesista : BIC. Jesús Miguel Romero Flores  
 Lugar : Recuay - Ancash  
 Fecha : 23-12-18  
 Muestreado por : Interesado  
 Técnico : Y.D.T

DATOS DE LA MUESTRA	Progresiva	70+120			
	Cantera	--			
	Calicata	C-03 + 5%Relave			
	Profundidad	--			
Porcentaje de material que pasa la malla de porción de material < 3"	3"	100.00			
	2"	100.00			
	1 1/2"	100.00			
	1"	92.95			
	3/4"	89.84			
	3/8"	86.81			
	# 4	82.24			
	# 10	77.47			
	# 20	74.38			
	# 40	70.07			
	# 60	66.29			
# 140	49.57				
# 200	44.12				
Coef. de Uniformidad Cu		--			
Coef. de Curvatura Cc		--			
Porcentaje de Material	Grava	17.76			
	Arena	38.12			
	Finos	44.12			
Mitad de Fracción Gruesa		27.94			
Límites de	L.L.	25.00			
	L.P.	14.00			
Consistencia	I.P.	11.00			
Humedad Natural (%)		4.01			
Índice de Grupo	IG - LL	1.14			
	IG - IP	0.29			
	Índice de Grupo	1			
Clasificación AASTHO		A-6(1)			
Clasificación SUCS		SC			
Descripción		Arena arcillosa con grava			

COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERU  
 Ing. Alejandro Milla Vergara  
 INGENIERO CIVIL  
 REG. CIP N° 42832

Laboratorio: Prolongación Caraz N° 1019 - Huaraz  
 Jr. Ramón Castilla N° 939 - Huaraz - Teléfono (043) 422315 Celular 944-931238 - E-mail: emv.laboratorio@gmail.com



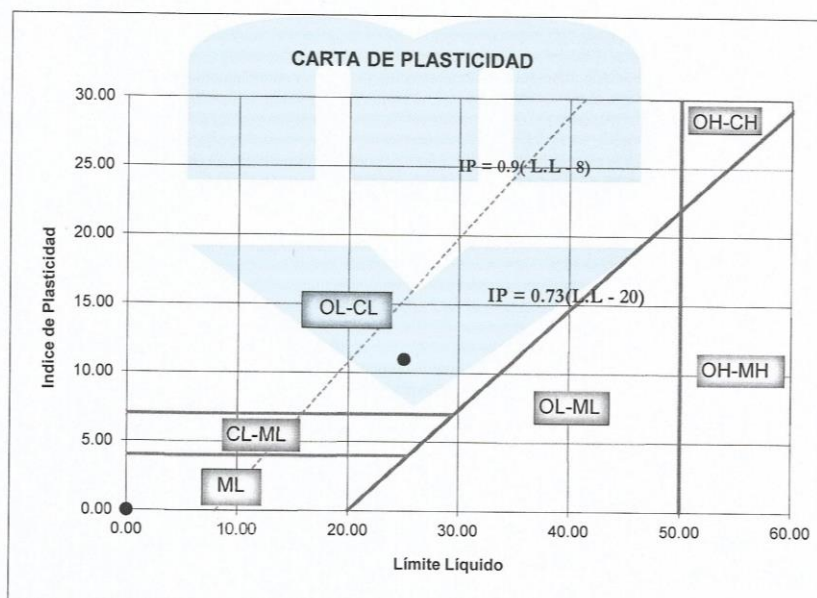
## EMV LABORATORIOS Y CONSTRUCCIÓN E.I.R.L.

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, ENSAYO DE MATERIALES, CONCRETO Y PAVIMENTOS  
LABORATORIO QUÍMICO DE SUELOS Y AGUAS  
OBRAS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA

### HOJA RESUMEN - ENSAYOS ESTANDAR - CLASIFICACIÓN SUCS Y AASHTO (MTC ANEXO 1)

#### UBICACIÓN DE PUNTOS EN LA CARTA DE PLASTICIDAD

Proyecto	: Estabilización del suelo de la subrasante usando el relave minero de Ticapampa en la carretera EMP PE 3N (Catac) - Tunel Kahuish - Chavin de Huantar - San Marcos EMP. PE - 14A (Succha), Ancash		
Solicita	: BIC. Jesús Miguel Romero Flores	Fecha	: 23-12-18
Lugar	: Recuay - Ancash	Muestreado por	: Interesado
		Técnico	: Y.D.T
DATOS DE LA MUESTRA			
Cantera	: --	Progresiva	: 70+120
Calicata	: C-03 + 5%Relave	Muestra	: mab-01
		Material	: Sub-rasante Es
		Profundidad	: --



COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERU  
Ing. Alejandro Milla Vergara  
INGENIERO CIVIL  
REG. CIP. N° 42832

Laboratorio: Prolongación Caraz N° 1019 - Huaraz

Jr. Ramón Castilla N° 939 - Huaraz - Teléfono (043) 422315 Celular 944-931238 - E-mail: emv.laboratorio@gmail.com



## EMV LABORATORIOS Y CONSTRUCCIÓN E.I.R.L.

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, ENSAYO DE MATERIALES, CONCRETO Y PAVIMENTOS  
LABORATORIO QUÍMICO DE SUELOS Y AGUAS  
OBRAS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA

### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO (MTC E 107)

Tesis : Estabilización del suelo de la subrasante usando el relave minero de Ticapampa en la carretera EMP PE 3N (Catac) - Tunel Kahuish - Chavin de Huantar - San Marcos EMP. PE - 14A (Succha), Ancash  
 Tesista : BIC. Jesús Miguel Romero Flores  
 Lugar : Recuay - Ancash  
 Fecha : 14-02-19  
 Muestreado por : Interesado  
 Técnico : Y.D.T

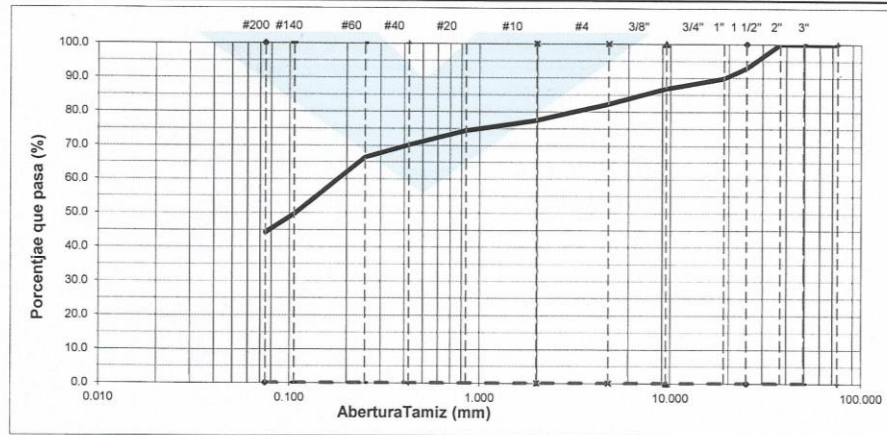
#### DATOS DE LA MUESTRA

Cantera : -- Progresiva : 70+120 Material : Sub-rasante Est  
 Calicata : C-03 + 5%Relave Muestra : mab-01 Tamaño Máximo: 1 1/2"

#### DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA

Masa Inicial Seca (gr) = 3201.37 Porción de masa que pasa tamiz N° 10 (gr) = 289.8  
 Masa Lavada y Seca (gr) = 1788.99 Masa de Material Grueso (gr) = 721.19  
 Masa Retenido 3"(gr) = 0.00 % que pasa N° 200 = 44.12

Abertura de Tamices		RETENIDO EN CADA TAMIZ		PORCENTAJE ACUMULADO	
ASTM	mm	Masa (gr)	%	Retenido	Que pasa
3"	75.000	0.00	0.00	0.0	100.0
2"	50.000	0.00	0.00	0.0	100.0
1 1/2"	37.500	0.00	0.00	0.0	100.0
1"	25.000	225.70	7.05	7.1	92.9
3/4"	19.000	99.70	3.11	10.2	89.8
3/8"	9.500	97.00	3.03	13.2	86.8
# 4	4.750	146.20	4.57	17.8	82.2
# 10	2.000	152.59	4.77	22.5	77.5
# 20	0.850	11.58	3.10	25.6	74.4
# 40	0.425	16.10	4.30	29.9	70.1
# 60	0.250	14.13	3.78	33.7	66.3
# 140	0.106	62.54	16.72	50.4	49.6
# 200	0.075	20.41	5.46	55.9	44.1
< 200	Fondo	165.02	44.12	100.0	0.0



% GRAVA	17.76	% Gruesa :	10.16	D60 (mm) =	0.196
		% Fina :	7.60	D30 (mm) =	0.000
% ARENA	38.12	% Gruesa :	4.77	D10 (mm) =	0.000
		% Media :	7.40	Coef. Unif. (Cu) =	--
% FINOS	44.12	% Fina :	25.95	Coef. Conc. (Cc) =	

**Ing. Alejandro Mila Vergara**  
 INGENIERO CIVIL  
 REG. CIP N° 42832

Laboratorio: Prolongación Caraz N° 1019 - Huaraz

Jr. Ramón Castilla N° 939 - Huaraz - Teléfono (043) 422315 Celular 944-931238 - E-mail: emv.laboratorio@gmail.com



## EMV LABORATORIOS Y CONSTRUCCIÓN E.I.R.L.

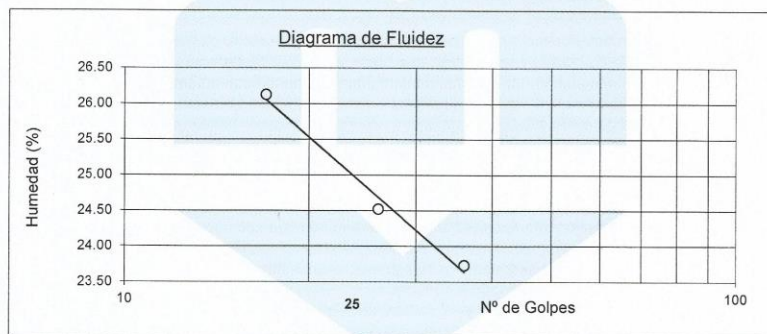
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, ENSAYO DE MATERIALES, CONCRETO Y PAVIMENTOS  
LABORATORIO QUÍMICO DE SUELOS Y AGUAS  
OBRAS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA

### LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO DE LOS SUELOS E INDICE DE PLASTICIDAD (MTC E 110 y MTC E 111)

Tesis	: Estabilización del suelo de la subrasante usando el relave minero de Ticapampa en la carretera EMP PE 3N (Catac) - Tunel Kahuish - Chavin de Huantar - San Marcos EMP. PE - 14A (Succha), Ancash		
Tesista	: BIC. Jesús Miguel Romero Flores	Fecha	: 16/02/2019
Lugar	: Recuay - Ancash	Muestreado por	: Interesado
Técnico : Y.D.T			
DATOS DE LA MUESTRA			
Cantera	: -.-	Progresiva	: 70+120
Calicata	: C-03 + 5%Relave	Muestra	: mab-01
		Material	: Sub-rasante Est.
		Profundidad	: -.-

#### DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO

N° de golpes	17	26	36
P.Suelo Húmedo+Rec.	38.36	47.87	40.28
P.Suelo Seco+Rec.	33.83	43.41	35.70
Peso del Recipiente	16.49	25.22	16.40
Peso Suelo Seco	17.34	18.19	19.30
Peso del Agua	4.53	4.46	4.58
C. de Humedad %	26.12	24.52	23.73



#### DETERMINACION DEL LIMITE PLASTICO

P.Suelo Húmedo+Rec.	23.69	22.06
P.Suelo Seco+Rec.	22.63	20.92
Peso del Recipiente	14.83	12.52
Peso Suelo Seco	7.80	8.40
Peso del Agua	1.06	1.14
C. de Humedad %	13.59	13.57

Limite Líquido = 25.0

Limite Plástico = 14.0

Indice Plasticidad = 11.0


**COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERU**  
 Ing. Alejandro Milla Vergara  
 INGENIERO CIVIL  
 REG. CIP N° 42832

Laboratorio: Prolongación Caraz N° 1019 - Huaraz

Jr. Ramón Castilla N° 939 - Huaraz - Teléfono (043) 422315 Celular 944-931238 - E-mail: emv.laboratorio@gmail.com



## EMV LABORATORIOS Y CONSTRUCCIÓN E.I.R.L.

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, ENSAYO DE MATERIALES, CONCRETO Y PAVIMENTOS  
LABORATORIO QUÍMICO DE SUELOS Y AGUAS  
OBRAS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA

### GRAVEDAD ESPECIFICA (MTC E 206)

Tesis	: Estabilización del suelo de la subrasante usando el relave minero de Ticapampa en la carretera EMP PE 3N (Catac) - Tunel Kahuish - Chavin de Huantar - San Marcos EMP. PE - 14A (Succha), Ancash		
Tesista	: BIC. Jesús Miguel Romero Flores	Fecha	: 14-02-19
Lugar	: Recuay - Ancash	Muestreado por	: Interesado
		Tecnico	: Y.D.T
<b>DATOS DE LA MUESTRA</b>			
Cantera	: --	Progresiva	: 70+120
Calicata	: C-03 + 5%Relave	Muestra	: mab-01
Material	: Sub-rasante Est.	Profundidad	: --

Agregado		GRUESO	GRUESO
Tamaño máximo de la muestra		1 1/2"	1 1/2"
Tipo de frasco utilizado		Cesta	Cesta
Masa del frasco dentro del agua (gr)	(A)	1000.00	1000.00
Masa de la muestra saturada superficialmente seca (gr)	(B)	1278.94	1145.75
Masa de la muestra saturada dentro del agua + frasco (gr)	(C)	1800.00	1714.42
Masa de la muestra seca (gr)	(D)	1264.20	1129.10
Masa de la muestra saturada dentro del agua (gr)	(E)	800.00	714.42
Gravedad Especifica B/(B-E)		2.67	2.66
<b>Gravedad Especifica Promedio</b>		<b>2.66</b>	
Gravedad Especifica Aparente, $Gea = D/(D - C)$		2.72	2.72
Densidad Aparente, $Da = 0.9975D/(D-E)$		2.72	2.72
<b>Densidad Aparente Promedio, Da</b>		<b>2.72</b>	

Observación:

  
COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERU  
Ing. Elio Alejandro Milla Vergara  
INGENIERO CIVIL  
REG. CIP N° 42832

Laboratorio: Prolongación Caraz N° 1019 - Huaraz  
Jr. Ramón Castilla N° 939 - Huaraz - Teléfono (043) 422315 Celular 944-931238 - E-mail: emv.laboratorio@gmail.com



## EMV LABORATORIOS Y CONSTRUCCIÓN E.I.R.L.

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, ENSAYO DE MATERIALES, CONCRETO Y PAVIMENTOS  
LABORATORIO QUÍMICO DE SUELOS Y AGUAS  
OBRAS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA

### COMPACTACION DE SUELOS EN LABORATORIO UTILIZANDO UNA ENERGIA MODIFICADA (PROCTOR MODIFICADO) (MTC E115)

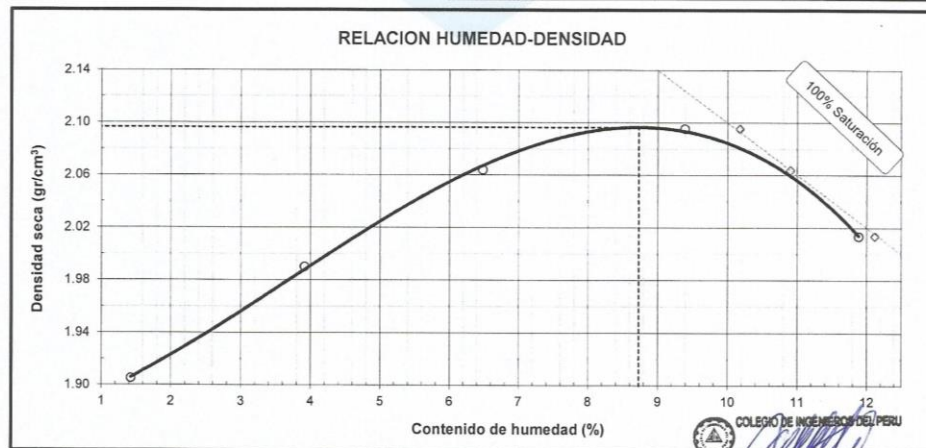
Tesis	Estabilización del suelo de la subrasante usando el relave minero de Ticapampa en la carretera EMP PE 3N (Catac) - Tunel Kahuish - Chavin de Huantar - San Marcos EMP. PE - 14A (Succha), Ancash	Fecha : 23-12-18
Tesista	BIC. Jesús Miguel Romero Flores	Muestreado por : Interesado
Lugar	Recuay - Ancash	Técnico : Y.D.T

#### DATOS DE LA MUESTRA

Cantera	:-	Muestra : mab-01	Progresiva	: 70+120
Calicata	: C-03 + 5%Relave		Clasif. (SUCS)	: SC
Material	: Sub-rasante Est.		Clasif. (AASHTO)	: A-6(1)

PROCEDIMIENTO DE COMPACTACION:	A	Método de Preparación :	Húmedo	Molde N° :	04
Pisón:	Manual	Gravedad Especifica (Gs) :	2.66	Tamiz N° :	# 4
Golpes por capa:	25	Capas :	Cinco	P <sub>c</sub> (%) :	17.76

Masa suelo húmedo + molde	gr	3750.2	3877.5	3999.2	4087.7	4050.8	
Masa del molde	gr	1938.0	1938.0	1938.0	1938.0	1938.0	
Peso suelo húmedo compactado	gr	1812.2	1939.5	2061.2	2149.7	2112.8	
Volumen del molde	cm <sup>3</sup>	937.9	937.9	937.9	937.9	937.9	
Densidad húmeda compactada	gr/cm <sup>3</sup>	1.932	2.068	2.198	2.292	2.253	
Cálculo Contenido de Humedad							
Masa del suelo húmedo+ recip.	gr	215.40	219.76	256.11	246.03	212.25	
Masa del suelo seco + recipiente	gr	212.94	212.93	241.86	226.76	193.57	
Masa del recipiente	gr	40.18	38.40	22.12	21.51	36.39	
Masa del agua	gr	2.46	6.83	14.25	19.27	18.68	
Masa del suelo seco	gr	172.76	174.53	219.74	205.25	157.18	
Contenido de Humedad	%	1.42	3.91	6.48	9.39	11.88	
Densidad seca compactada	gr/cm <sup>3</sup>	1.91	1.99	2.06	2.10	2.01	
						Densidad Seca Compactada Máxima (gr/cm <sup>3</sup> ) $\gamma_d$	2.10
						Peso Unitario Seco Compactado (kN/m <sup>3</sup> ) $\gamma_d$	20.6
						Humedad óptima (%)	8.73



Observaciones:

Laboratorio: Prolongación Caraz N° 1019 - Huaraz  
Jr. Ramón Castilla N° 939 - Huaraz - Teléfono (043) 422315 Celular 944-931238 - E-mail: emv.laboratorio@gmail.com

**Ing. Elio Alejandro Milla Vergara**  
 INGENIERO CIVIL  
 REG. E.I.P. N° 42532



**CBR (Relación de soporte de California) DE SUELOS EN EL LABORATORIO**  
(MTC E 132)

Tesis	: Estabilización del suelo de la subrasante usando el relave minero de Ticapampa en la carretera EMP PE 3N (Catac) - Tunel Kahuish - Chavin de Huantar - San Marcos EMP, PE - 14A (Succha), Ancash	Fecha de Ensayo	: 14/02/2019
Tesista	: BIC. Jesús Miguel Romero Flores	Muestreado por	: Interesado
Lugar	: Recuay - Ancash	Técnico	: Y.D.T

DATOS DE LA MUESTRA			
Calicata	: C-03 + 5%Relave	Progresiva	: 70+120
Muestra	: mab-01	Clasif. (SUCS)	: SC
Material	: Sub-rasante Est.	Clasif. (AASHTO)	: A-6(1)

PREPARACIÓN DEL ESPECIMEN (COMPACTACION)						
Compactación	: Modificado	Método	: A			
Molde Nº		4	5	6		
Capas Nº		5	5	5		
Golpes por capa Nº		55	26	12		
Condición de la muestra		NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO
Peso de molde + Suelo húmedo (g)		12297.5	12445.5	11880.2	12090.4	11557.3
Peso de molde (g)		7546.0	7546.0	7324.6	7324.6	7290.6
Peso del suelo húmedo (g)		4751.5	4899.5	4555.6	4765.8	4266.7
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )		2113.9	2113.9	2120.4	2120.4	2115.5
Peso Unitario húmedo (g/cm <sup>3</sup> )		2.25	2.32	2.15	2.25	2.02
		Contenido de Humedad				
Peso suelo húmedo + recipiente (g)		266.16	211.68	257.62	222.38	226.42
Peso suelo seco + recipiente (g)		248.00	195.97	239.80	202.34	210.94
Peso del recipiente (g)		26.03	36.58	22.12	37.50	23.98
Peso de agua (g)		18.16	15.71	17.82	20.04	15.48
Peso de suelo seco (g)		221.97	159.39	217.68	164.84	186.96
Contenido de humedad (%)		8.18	9.86	8.19	12.16	8.28
Peso Unitario seco (g/cm <sup>3</sup> )		2.08	2.11	1.99	2.00	1.86

Datos del Ensayo Proctor Modificado      Peso Unitario Seco = 2.096 gr/cm<sup>3</sup>      C.H.O. = 8.73 %

INMERSIÓN										
Sobrecarga de saturación =		4.54 Kg								
FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION
				mm	%		mm	%		mm
14/02/2019	12:40	0	0.000	0.000	0.0	0.000	0.000	0.0	0.000	0.000
15/02/2019	12:40	24	0.016	0.400	0.3	0.020	0.500	0.4	0.042	1.050
16/02/2019	12:05	48	0.019	0.475	0.4	0.027	0.675	0.5	0.064	1.600
17/02/2019	11:50	72	0.020	0.490	0.4	0.027	0.675	0.5	0.065	1.613
18/02/2019	11:40	96	0.020	0.510	0.4	0.027	0.683	0.5	0.065	1.625

PENETRACION													
Sobrecarga de penetración =		4.54 Kg											
PENETRACION mm	CARGA STAND. kg/cm2	MOLDE Nº				MOLDE Nº				MOLDE Nº			
		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION	
		Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%
0.000		0	0			0	0			0	0		
0.625		10	66.8			9	63.2			8	59.6		
1.250		30	138.3			24	116.8			18	95.4		
1.875		55	227.8			45	192.0			28	131.2		
2.540	70.31	85	335.1	346.5	25.1	65	263.5	264.3	19.1	28	131.2	148.6	10.8
5.080	105.46	182	682.1	634.7	30.7	124	474.6	456.3	22.0	55	227.8	229.6	11.1
7.500		230	853.8			154	581.9			68	274.3		
10.000		255	943.3			172	646.3			77	306.5		
12.500		302	1111.4			195	728.6			86	338.7		

COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERU  
 Ing. Efraim Milla Vergara  
 INGENIERO CIVIL  
 REG. C.I.P. N° 42832





## EMV LABORATORIOS Y CONSTRUCCIÓN E.I.R.L.

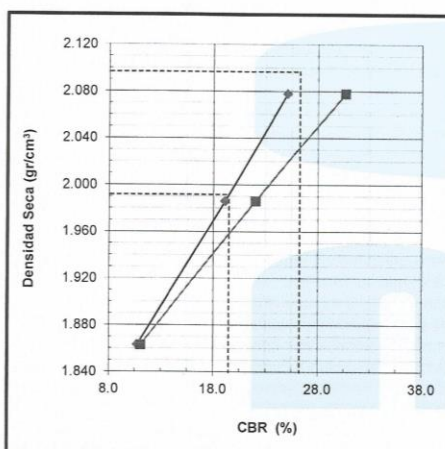
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, ENSAYO DE MATERIALES, CONCRETO Y PAVIMENTOS  
LABORATORIO QUÍMICO DE SUELOS Y AGUAS  
OBRAS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA

### CBR (Relación de soporte de California) DE SUELOS EN EL LABORATORIO (MTC E 132)

Tesis :	Estabilización del suelo de la subrasante usando el relave minero de Ticapampa en la carretera EMP PE 3N (Catac) - Tunel Kahuish - Chavin de Huantar - San Marcos	Fecha : 18/02/2019
Tesista :	BIC. Jesús Miguel Romero Flores	Muestreado por : Interesado
Lugar :	Recuay - Ancash	Técnico : Y.D.T

#### DATOS DE LA MUESTRA

Calicata :	C-03 + 5%Relave	Progresiva :	70+120
Muestra :	mab-01	Clasif. (SUCS) :	SC
Material :	Sub-rasante Est.	Clasif. (AASHTO) :	A-6(1)



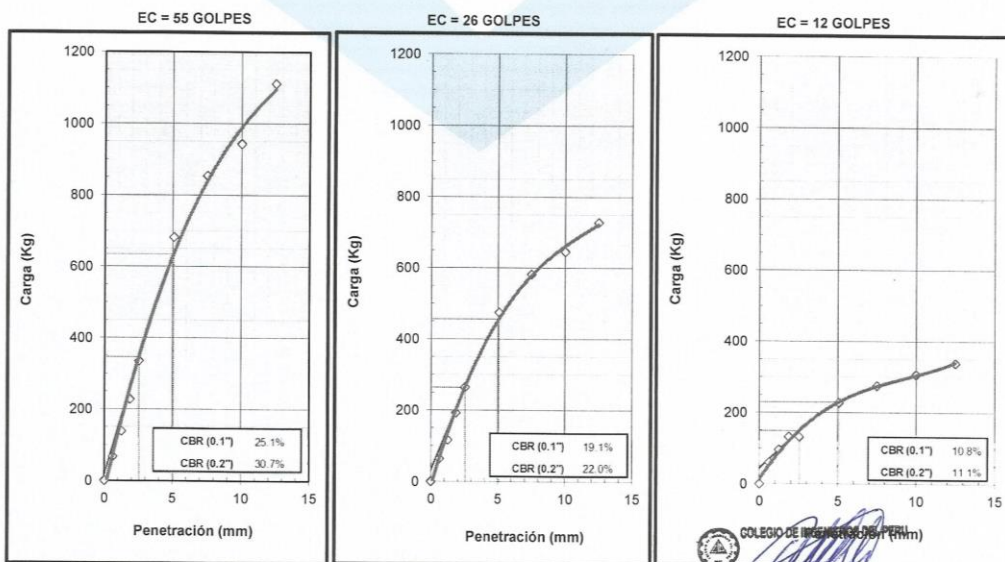
METODO DE COMPACTACION :	ASTM D1557
MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm³) :	2.10
OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%) :	8.73
95% MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm³) :	1.99

C.B.R. al 100% de M.D.S. (%)	0.1":	26.3	0.2":	32.5
C.B.R. al 95% de M.D.S. (%)	0.1":	19.5	0.2":	22.6

**RESULTADOS:**

Valor de C.B.R. al 100% de la M.D.S.	=	26.3 (%)
Valor de C.B.R. al 95% de la M.D.S.	=	19.5 (%)

**OBSERVACIONES:**



**Ing. Elio Alejandro Milla Vergara**  
 INGENIERO CIVIL  
 RES. CIP. N° 42832

**B.10. CALICATA N°3 – SUELO DE LA SUBRASANTE + 10% DEL RELAVE MINERO DE TICAPAMPA.**



**EMV LABORATORIOS Y CONSTRUCCIÓN E.I.R.L.**  
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, ENSAYO DE MATERIALES, CONCRETO Y PAVIMENTOS  
 LABORATORIO QUÍMICO DE SUELOS Y AGUAS  
 OBRAS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA

**HOJA RESUMEN - ENSAYOS ESTANDAR - CLASIFICACIÓN SUCS Y AASHTO (MTC ANEXO 1)**

Tesis : Estabilización del suelo de la subrasante usando el relave minero de Ticapampa en la carretera EMP PE 3N (Catac) - Tunel Kahuish - Chavin de Huantar - San Marcos EMP. PE - 14A (Succha), Ancash  
 Tesista : BIC. Jesús Miguel Romero Flores Fecha : 30-11-18  
 Lugar : Recuay - Ancash Muestreado por : Interesado  
 Técnico : Y.D.T

DATOS DE LA MUESTRA	Progresiva	--				
	Cantera	--				
	Calicata	C-03 + 10%Relave				
	Profundidad	--				
Porcentaje de material que pasa la malla de porción de material < 3"	3"	100.00				
	2"	100.00				
	1 1/2"	100.00				
	1"	93.32				
	3/4"	90.37				
	3/8"	87.50				
	# 4	83.17				
	# 10	78.65				
	# 20	76.57				
	# 40	73.53				
	# 60	70.36				
# 140	52.63					
# 200	46.98					
Coef. de Uniformidad Cu		--				
Coef. de Curvatura Cc		--				
Porcentaje de Material	Grava	16.83				
	Arena	36.19				
	Finos	46.98				
Mitad de Fracción Gruesa		26.51				
Limites de Consistencia	L.L.	24.00				
	L.P.	13.00				
I.P.		11.00				
Humedad Natural (%)		4.01				
Indice de Grupo	IG - LL	1.44				
	IG - IP	0.32				
	Indice de Grupo	2				
Clasificación AASTHO		A-6(2)				
Clasificación SUCS		SC				
Descripción		Arena arcillosa con grava				

COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERU  
 Ing. Efraim Milla Vergara  
 INGENIERO CIVIL  
 REG. CIP. N° 42832

Laboratorio: Prolongación Caraz N° 1019 - Huaraz

Jr. Ramón Castilla N° 939 - Huaraz - Teléfono (043) 422315 Celular 944-931238 - E-mail: emv.laboratorio@gmail.com



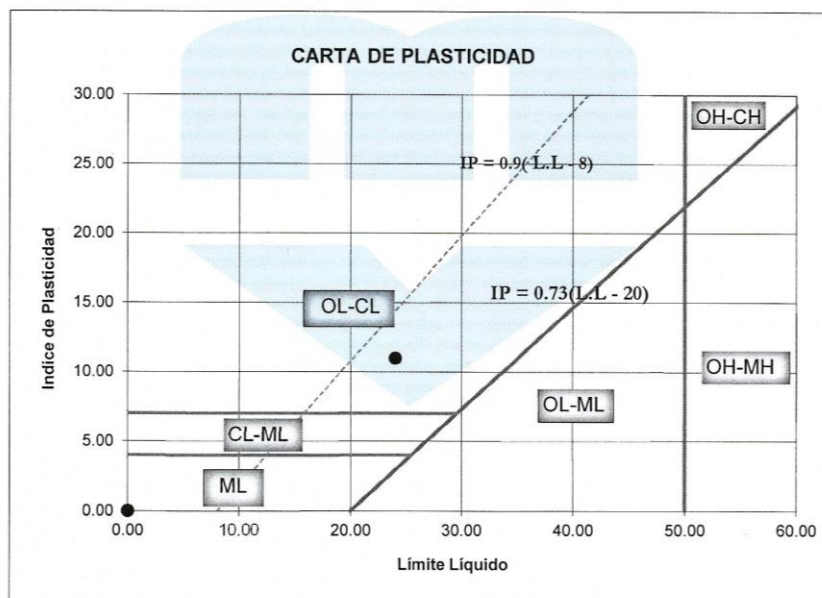
## EMV LABORATORIOS Y CONSTRUCCIÓN E.I.R.L.

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, ENSAYO DE MATERIALES, CONCRETO Y PAVIMENTOS  
LABORATORIO QUÍMICO DE SUELOS Y AGUAS  
OBRAS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA

### HOJA RESUMEN - ENSAYOS ESTANDAR - CLASIFICACIÓN SUCS Y AASHTO (MTC ANEXO 1)

#### UBICACIÓN DE PUNTOS EN LA CARTA DE PLASTICIDAD

Proyecto	: Estabilización del suelo de la subrasante usando el relave minero de Ticapampa en la carretera EMP PE 3N (Catac) - Tunel Kahuish - Chavin de Huantar - San Marcos EMP. PE - 14A (Succha), Ancash		
Solicita	: BIC. Jesús Miguel Romero Flores	Fecha	: 30-11-18
Lugar	: Recuay - Ancash	Muestreado por	: Interesado
		Técnico	: Y.D.T
DATOS DE LA MUESTRA			
Cantera	: --	Progresiva	: --
Calicata	: C-03 + 10%Relave	Muestra	: mab-01
		Material	: Sub-rasante Es
		Profundidad	: --



COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERU  
Ing. Eje Alejandro Mills Vergara  
INGENIERO CIVIL  
REG. C.I.P. N° 42832

Laboratorio: Prolongación Caraz N° 1019 - Huaraz  
Jr. Ramón Castilla N° 939 - Huaraz - Teléfono (043) 422315 Celular 944-931238 - E-mail: emv.laboratorio@gmail.com



## EMV LABORATORIOS Y CONSTRUCCIÓN E.I.R.L.

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, ENSAYO DE MATERIALES, CONCRETO Y PAVIMENTOS  
LABORATORIO QUÍMICO DE SUELOS Y AGUAS  
OBRAS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA

### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO

(MTC E 107)

Tesis : Estabilización del suelo de la subrasante usando el relave minero de Ticapampa en la carretera EMP PE 3N (Catac) - Tunel Kahuish - Chavin de Huantar - San Marcos EMP. PE - 14A (Succha), Ancash  
 Tesista : BIC. Jesús Miguel Romero Flores  
 Lugar : Recuay - Ancash  
 Fecha : 14-02-19  
 Muestreado por : Interesado  
 Técnico : Y.D.T

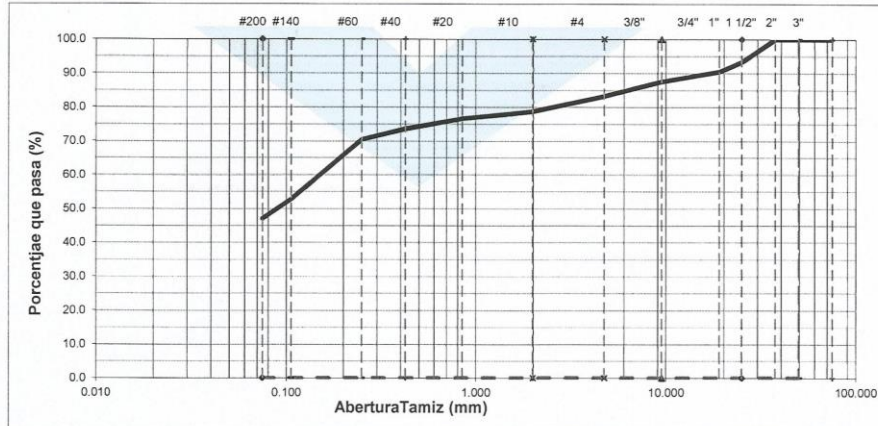
#### DATOS DE LA MUESTRA

Cantera : -- Progresiva : -- Material : Sub-rasante Est.  
 Calicata : C-03 + 10%Relave Muestra : mab-01 Tamaño Máximo: 1 1/2"

#### DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA

Masa Inicial Seca (gr) = 3379.22 Porción de masa que pasa tamiz N° 10 (gr) = 467.3  
 Masa Lavada y Seca (gr) = 1791.57 Masa de Material Grueso (gr) = 721.51  
 Masa Retenido 3"(gr) = 0.00 % que pasa N° 200 = 46.98

Abertura de Tamices		RETENIDO EN CADA TAMIZ		PORCENTAJE ACUMULADO	
ASTM	mm	Masa (gr)	%	Retenido	Que pasa
3"	75.000	0.00	0.00	0.0	100.0
2"	50.000	0.00	0.00	0.0	100.0
1 1/2"	37.500	0.00	0.00	0.0	100.0
1"	25.000	225.70	6.68	6.7	93.3
3/4"	19.000	99.70	2.95	9.6	90.4
3/8"	9.500	97.00	2.87	12.5	87.5
# 4	4.750	146.20	4.33	16.8	83.2
# 10	2.000	152.91	4.53	21.4	78.6
# 20	0.850	12.33	2.08	23.4	76.6
# 40	0.425	18.10	3.05	26.5	73.5
# 60	0.250	18.84	3.17	29.6	70.4
# 140	0.106	105.35	17.73	47.4	52.6
# 200	0.075	33.53	5.64	53.0	47.0
< 200	Fondo	279.16	46.98	100.0	0.0



% GRAVA	16.83	% Gruesa :	9.63	D60 (mm) =	0.166
		% Fina :	7.20	D30 (mm) =	0.000
% ARENA	36.19	% Gruesa :	4.53	D10 (mm) =	0.000
		% Media :	5.12	Coef. Unif. (Cu) =	--
% FINOS	46.98	% Fina :	26.54	Coef. Conc. (Cc) =	

Ing. Alejandro Milla Vergara  
 INGENIERO CIVIL  
 REG. CIP N° 42832

Laboratorio: Prolongación Caraz N° 1019 - Huaraz

Jr. Ramón Castilla N° 939 - Huaraz - Teléfono (043) 422315 Celular 944-931238 - E-mail: emv.laboratorio@gmail.com



## EMV LABORATORIOS Y CONSTRUCCIÓN E.I.R.L.

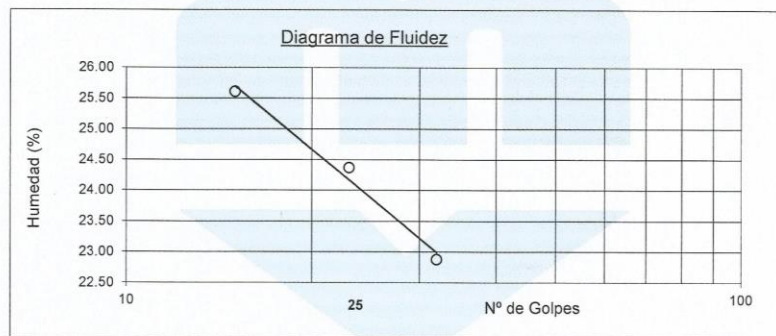
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, ENSAYO DE MATERIALES, CONCRETO Y PAVIMENTOS  
LABORATORIO QUÍMICO DE SUELOS Y AGUAS  
OBRAS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA

### LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO DE LOS SUELOS E INDICE DE PLASTICIDAD (MTC E 110 y MTC E 111)

Tesis	: Estabilización del suelo de la subrasante usando el relave minero de Ticapampa en la carretera EMP PE 3N (Catac) - Tunel Kahuish - Chavin de Huantar - San Marcos EMP. PE - 14A (Succha), Ancash		
Tesista	: BIC. Jesús Miguel Romero Flores	Fecha	: 18/02/2019
Lugar	: Recuay - Ancash	Muestreado por	: Interesado
		Técnico	: Y.D.T
<b>DATOS DE LA MUESTRA</b>			
Cantera	: -.-	Progresiva	: -.-
Calicata	: C-03 + 10%Relave	Muestra	: mab-01
		Material	: Sub-rasante Est.
		Profundidad	: -.-

#### DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO

N° de golpes	15	23	32
P.Suelo Húmedo+Rec.	38.18	40.60	42.29
P.Suelo Seco+Rec.	33.85	35.89	37.49
Peso del Recipiente	16.94	16.56	16.51
Peso Suelo Seco	16.91	19.33	20.98
Peso del Agua	4.33	4.71	4.80
C. de Humedad %	25.61	24.37	22.88



#### DETERMINACION DEL LIMITE PLASTICO

P.Suelo Húmedo+Rec.	26.78	25.76
P.Suelo Seco+Rec.	25.45	24.55
Peso del Recipiente	15.07	15.08
Peso Suelo Seco	10.38	9.47
Peso del Agua	1.33	1.21
C. de Humedad %	12.81	12.78

Limite Líquido = 24.0

Limite Plástico = 13.0

Indice Plasticidad = 11.0

COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERU  
 Ing. Elio Alejandro Milla Vergara  
 INGENIERO CIVIL  
 REG. C.I.P. N° 42932

Laboratorio: Prolongación Caraz N° 1019 - Huaraz

Jr. Ramón Castilla N° 939 - Huaraz - Teléfono (043) 422315 Celular 944-931238 - E-mail: emv.laboratorio@gmail.com



## EMV LABORATORIOS Y CONSTRUCCIÓN E.I.R.L.

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, ENSAYO DE MATERIALES, CONCRETO Y PAVIMENTOS  
LABORATORIO QUÍMICO DE SUELOS Y AGUAS  
OBRAS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA

### GRAVEDAD ESPECIFICA (MTC E 206)

Tesis	: Estabilización del suelo de la subrasante usando el relave minero de Ticapampa en la carretera EMP PE 3N (Catac) - Tunel Kahuish - Chavin de Huantar - San Marcos		
Tesista	: BIC. Jesús Miguel Romero Flores	Fecha	: 14-02-19
Lugar	: Recuay - Ancash	Muestreado por	: Interesado
		Tecnico	: Y.D.T
DATOS DE LA MUESTRA			
Cantera	: --	Progresiva	: --
Calicata	: C-03 + 10%Relave	Muestra	: mab-01
Material	: Sub-rasante Est.	Profundidad	: --

Agregado	GRUESO	GRUESO
Tamaño máximo de la muestra	1 1/2"	1 1/2"
Tipo de frasco utilizado	Cesta	Cesta
Masa del frasco dentro del agua (gr) (A)	1000.00	1000.00
Masa de la muestra saturada superficialmente seca (gr) (B)	1278.94	1145.75
Masa de la muestra saturada dentro del agua + frasco (gr) (C)	1800.00	1714.42
Masa de la muestra seca (gr) (D)	1264.20	1129.10
Masa de la muestra saturada dentro del agua (gr) (E)	800.00	714.42
Gravedad Especifica B/(B-E)	2.67	2.66
<b>Gravedad Especifica Promedio</b>	<b>2.66</b>	
Gravedad Especifica Aparente, $Gea = D/(D - C)$	2.72	2.72
Densidad Aparente, $Da = 0.9975D/(D-E)$	2.72	2.72
<b>Densidad Aparente Promedio, Da</b>	<b>2.72</b>	

Observación:

  
COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERU  
Ing. Elio Alejandro Milla Vergara  
INGENIERO CIVIL  
REG. CIP. N° 42832

Laboratorio: Prolongación Caraz N° 1019 - Huaraz  
Jr. Ramón Castilla N° 939 - Huaraz - Teléfono (043) 422315 Celular 944-931238 - E-mail: emv.laboratorio@gmail.com



## EMV LABORATORIOS Y CONSTRUCCIÓN E.I.R.L.

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, ENSAYO DE MATERIALES, CONCRETO Y PAVIMENTOS  
LABORATORIO QUÍMICO DE SUELOS Y AGUAS  
OBRAS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA

### COMPACTACION DE SUELOS EN LABORATORIO UTILIZANDO UNA ENERGIA MODIFICADA (PROCTOR MODIFICADO) (MTC E115)

Tesis	: Estabilización del suelo de la subrasante usando el relave minero de Ticapampa en la carretera EMP PE 3N (Catac) - Tunel Kahuish - Chavin de Huantar - San Marcos EMP. PE - 14A (Succha), Ancash	Fecha : 13-02-19
Tesista	: BIC. Jesús Miguel Romero Flores	Muestreado por : Interesado
Lugar	: Recuay - Ancash	Técnico : Y.D.T

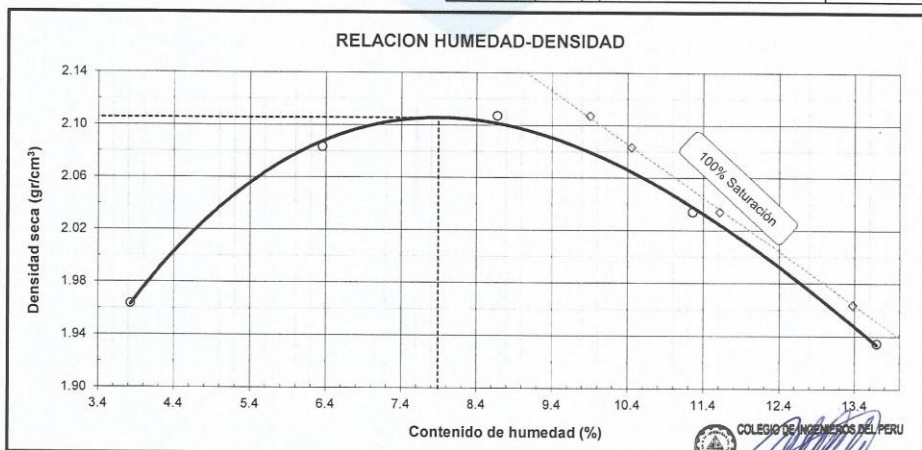
#### DATOS DE LA MUESTRA

Cantera : --	Muestra : mab-01	Progresiva : --
Calicata : C-03 + 10%Relave		Clasif. (SUCS) : SC
Material : Sub-rasante Est.		Clasif. (AASHTO): A-6(2)

PROCEDIMIENTO DE COMPACTACION: <b>A</b>	Método de Preparación : Húmedo	Molde N° : 04
Pisón: Manual	Gravedad Específica (Gs) : 2.66	Tamiz N° : # 4
Golpes por capa: 25	Capas : Cinco	P <sub>c</sub> (%) : 16.83

Masa suelo húmedo + molde	gr	3850.2	4015.8	4085.8	4060.4	4000.8
Masa del molde	gr	1938.0	1938.0	1938.0	1938.0	1938.0
Peso suelo húmedo compactado	gr	1912.2	2077.8	2147.8	2122.4	2062.8
Volumen del molde	cm <sup>3</sup>	937.9	937.9	937.9	937.9	937.9
Densidad húmeda compactada	gr/cm <sup>3</sup>	2.039	2.215	2.290	2.263	2.199
Cálculo Contenido de Humedad						
Masa del suelo húmedo+ recip.	gr	215.40	219.76	257.32	267.44	212.25
Masa del suelo seco + recipiente	gr	208.94	208.93	238.86	242.82	191.07
Masa del recipiente	gr	40.18	38.40	26.03	24.15	36.39
Masa del agua	gr	6.46	10.83	18.46	24.62	21.18
Masa del suelo seco	gr	168.76	170.53	212.83	218.67	154.68
Contenido de Humedad	%	3.83	6.35	8.67	11.26	13.69
Densidad seca compactada	gr/cm <sup>3</sup>	1.96	2.08	2.11	2.03	1.93

Densidad Seca Compactada Máxima (gr/cm <sup>3</sup> ) $\gamma_d$	2.11
Peso Unitario Seco Compactado (kN/m <sup>3</sup> ) $\gamma_d$	20.7
Humedad óptima (%)	7.89



Observaciones:

Laboratorio: Prolongación Caraz N° 1019 - Huaraz

Jr. Ramón Castilla N° 939 - Huaraz - Teléfono (043) 422315 Celular 944-931238 - E-mail: emv.laboratorio@gmail.com

**Ing. Alejandro Milla Vergara**  
 INGENIERO CIVIL  
 REG. CIP N° 42832



## EMV LABORATORIOS Y CONSTRUCCIÓN E.I.R.L.

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, ENSAYO DE MATERIALES, CONCRETO Y PAVIMENTOS  
LABORATORIO QUÍMICO DE SUELOS Y AGUAS  
OBRAS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA

### CBR (Relación de soporte de California) DE SUELOS EN EL LABORATORIO (MTC E 132)

Tesis	Estabilización del suelo de la subrasante usando el relave minero de Ticapampa en la carretera EMP PE 3N (Catac) - Tunel Kahuish - Chavin de Huantar - San Marcos EMP. PE - 14A (Succha), Ancash	Fecha de Ensayo :	14/02/2019
Tesista	BIC. Jesús Miguel Romero Flores	Muestreado por :	Interesado
Lugar	Recuay - Ancash	Técnico :	Y.D.T

#### DATOS DE LA MUESTRA

Calicata : C-03 + 10%Relave	Progresiva : --
Muestra : mab-01	Clasif. (SUCS) : SC
Material : Sub-rasante Est.	Clasif. (AASHTO) : A-6(2)

#### PREPARACIÓN DEL ESPECIMEN (COMPACTACION)

Compactación :	Modificado	Método:	A		
Molde N°	7	8	9		
Capas N°	5	5	5		
Golpes por capa N°	55	26	12		
Condición de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO
Peso de molde + Suelo húmedo (g)	12205.5	12355.7	11944.8	12165.6	11827.5
Peso de molde (g)	7400.8	7400.8	7421.5	7421.5	7563.8
Peso del suelo húmedo (g)	4804.7	4954.9	4523.3	4744.1	4263.7
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2139.9	2139.9	2117.6	2117.6	2126.7
Peso Unitario húmedo (g/cm <sup>3</sup> )	2.25	2.32	2.14	2.24	2.00
	Contenido de Humedad				
Peso suelo húmedo + recipiente (g)	256.76	237.78	263.84	218.60	255.95
Peso suelo seco + recipiente (g)	239.17	220.17	245.58	199.72	237.99
Peso del recipiente (g)	24.57	41.85	23.26	39.93	22.43
Peso de agua (g)	17.59	17.61	18.26	18.88	17.96
Peso de suelo seco (g)	214.60	178.32	222.32	159.79	215.56
Contenido de humedad (%)	8.20	9.88	8.21	11.82	8.33
Peso Unitario seco (g/cm <sup>3</sup> )	2.08	2.11	1.97	2.00	1.85

Datos del Ensayo Proctor Modificado      Peso Unitario Seco = 2.106 gr/cm<sup>3</sup>      C.H.O. = 7.89 %

#### INMERSION

Sobrecarga de saturación = 4.54 Kg											
FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
				mm	%		mm	%		mm	%
14/02/2019	12:40	0	0.000	0.000	0.0	0.000	0.000	0.0	0.000	0.000	0.0
15/02/2019	12:40	24	0.034	0.850	0.7	0.038	0.950	0.7	0.090	2.250	1.8
16/02/2019	12:05	48	0.050	1.250	1.0	0.059	1.475	1.2	0.164	4.100	3.2
17/02/2019	11:50	72	0.078	1.950	1.5	0.082	2.050	1.6	0.172	4.300	3.4
18/02/2019	11:40	96	0.110	2.750	2.2	0.150	3.750	3.0	0.186	4.650	3.7

#### PENETRACION

Sobrecarga de penetración = 4.54 Kg													
PENETRACION mm	CARGA STAND. kg/cm <sup>2</sup>	MOLDE N°				MOLDE N°				MOLDE N°			
		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION	
		Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%
0.000		0	0			0	0			0	0		
0.625		16	88.2			8	59.6			6	52.5		
1.250		43	184.8			20	102.5			16	88.2		
1.875		85	335.1			37	163.4			27	127.6		
2.540	70.31	135	514.0	493.0	35.7	56	231.3	243.9	17.7	40	174.1	167.1	12.1
5.080	105.46	246	911.1	860.8	41.6	123	471.0	431.7	20.9	64	260.0	260.2	12.6
7.500		295	1086.4			147	556.9			76	302.9		
10.000		325	1193.7			164	617.7			85	335.1		
12.500		365	1336.8			190	710.7			94	367.3		

COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERU  
 Ing. *Alejandro Milla Vergara*  
 INGENIERO CIVIL  
 REG. CIP N° 42832

Laboratorio: Prolongación Caraz N° 1019 - Huaraz  
 Jr. Ramón Castilla N° 939 - Huaraz - Teléfono (043) 422315 Celular 944-931238 - E-mail: emv.laboratorio@gmail.com





## EMV LABORATORIOS Y CONSTRUCCIÓN E.I.R.L.

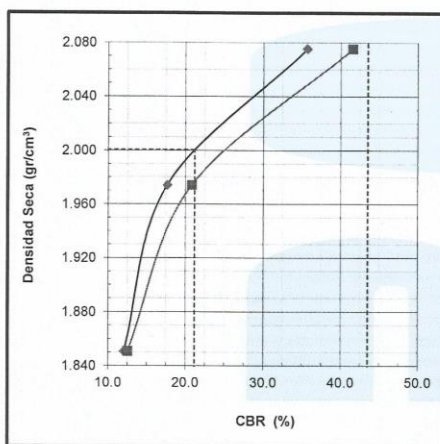
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, ENSAYO DE MATERIALES, CONCRETO Y PAVIMENTOS  
LABORATORIO QUÍMICO DE SUELOS Y AGUAS  
OBRAS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA

### CBR (Relación de soporte de California) DE SUELOS EN EL LABORATORIO (MTC E 132)

Tesis : Estabilización del suelo de la subrasante usando el relave minero de Ticapampa en la carretera EMP PE 3N (Catac) - Tunel Kahuish - Chavin de Huantar - San Marcos  
 Fecha : 18/02/2019  
 Tesista : BIC. Jesús Miguel Romero Flores  
 Muestreado por : Interesado  
 Lugar : Recuay - Ancash  
 Técnico : Y.D.T

#### DATOS DE LA MUESTRA

Calicata : C-03 + 10%Relave  
 Muestra : mab-01  
 Material : Sub-rasante Est.  
 Progresiva : --  
 Clasif. (SUCS) : SC  
 Clasif. (AASHTO) : A-6(2)

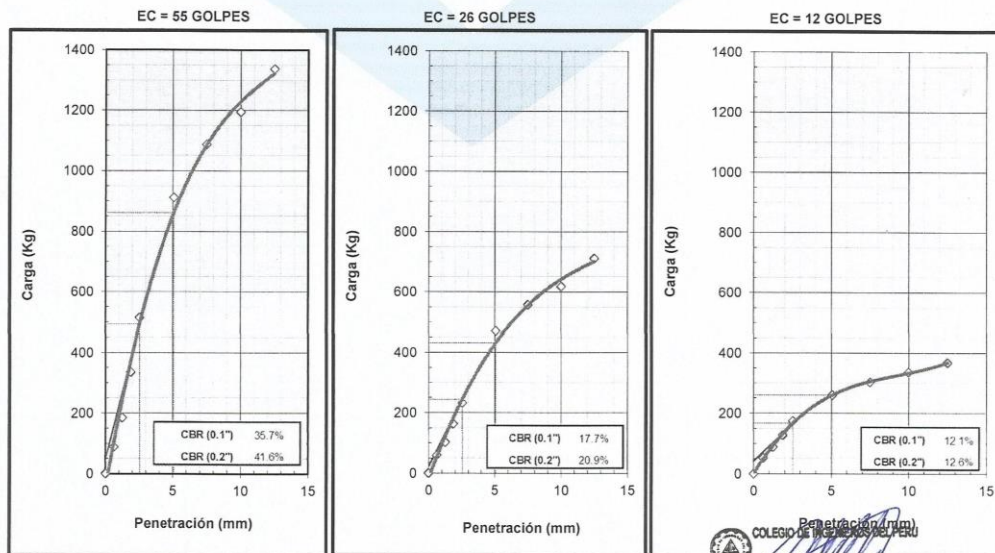


METODO DE COMPACTACION : ASTM D1557  
 MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm3) : 2.11  
 OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%) : 7.89  
 95% MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm3) : 2.00

C.B.R. al 100% de M.D.S. (%)	0.1":	43.5	0.2":	50.3
C.B.R. al 95% de M.D.S. (%)	0.1":	21.2	0.2":	25.0

RESULTADOS:  
 Valor de C.B.R. al 100% de la M.D.S. = 43.5 (%)  
 Valor de C.B.R. al 95% de la M.D.S. = 21.2 (%)

#### OBSERVACIONES:



Laboratorio: Prolongación Caraz N° 1019 - Huaraz

Jr. Ramón Castilla N° 939 - Huaraz - Teléfono (043) 422315 Celular 944-931238 - E-mail: emv.laboratorio@gmail.com

Ing. Elio Alejandro Milla Vergara  
 INGENIERO CIVIL  
 REG. CIP N° 42832  
 COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERU