



**UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL**

Mejoramiento del CBR adicionando escoria de acero blanca al suelo de la

Ruta N° LI-810 con trayectoria: Emp. pe-3n (Quiruvilca) – Bandurria

**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN**

Para optar el grado de bachiller en Ingeniería Civil

**AUTOR(ES)**

Cohen Peña, Luis Alonso (0000-0002-3471-8198)

Paz Castillo, Percy Alejandro (0000-0002-0785-8937)

**ASESOR**

Soto Sueñas, Milagros del Pilar (0000-0002-3322-8891)

**Lima, 5 de enero del 2021**

## *DEDICATORIA*

*A nuestras familias, amigos y a todas las personas que nos apoyaron en este difícil camino de la carrera, demostrándoles que nuestro esfuerzo y logros son frutos de su apoyo.*

## AGRADECIMIENTOS

A nuestra asesora Milagros del Pilar Soto Dueñas, que siempre tuvo la paciencia y disposición para encaminarnos hacia una vista clara de la tesis. También, a nuestros jefes Winston Lewis y Bernardo Estrada de la Cruz, por los conocimientos adquiridos en una muy buena experiencia laboral.

## RESUMEN

En los proyectos de infraestructura vial, se contemplan imprevistos debido a la presencia de suelos arcillosos. La causa principal de estos problemas se debe a sus malas características mecánicas, la cual puede ser medida mediante el ensayo de california bearing ratio (CBR). Esto puede ocasionar que la vida útil de la carretera se vea reducida, además, la mala calidad de la subrasante podría ocasionar mayor necesidad de mantenimientos. Sin embargo, diversos estudios concuerdan que, al mezclar escoria de acero blanca con los suelos arcillosos, se logra aumentar los valores del CBR.

Esta investigación, aplica la estabilización del suelo de la ruta N°LI-810 con trayectoria: Emp.PE-3N (Quiruvilca) – Bandurria con escoria de acero blanca de SIDERPERU. Se utilizaron tres diferentes porcentajes de escoria blanca según al peso de la muestra (7.5%, 15% y 22.5%) en el ensayo de CBR.

Los ensayos de laboratorios brindaron resultados favorables con el aumento de la capacidad de soporte (CBR). Analizando los efectos de la estabilización, se determinó que el 10% de escoria de acero blanca según el peso de la muestra, es el porcentaje optimo que logra aumentar su CBR a un 3% (porcentaje mínimo establecido por el Ministerio de Transporte y Comunicaciones) y transformarlo de una subrasante inadecuada a una subrasante pobre que se pueda utilizar con fines viales.

Palabras clave: [Subrasante; Escoria de Acero; Estabilización; Arcilla]

IMPROVEMENT OF THE CBR BY ADDING WHITE STEEL SLAG TO THE  
GROUND OF RUTA N° LI-810 CON TRAYECTORIA: EMP. PE-3N (QUIRUVILCA) –  
BANDURRIA

ABSTRACT

In road infrastructure projects, contingencies are contemplated due to the presence of clay soils. The main cause of these problems is due to its poor mechanical characteristics, which can be measured by the California bearing ratio (CBR) test. This can cause the useful life of the road to be reduced, in addition, the poor quality of the subgrade could cause a greater need for maintenance. However, various studies agree that, by mixing white steel slag with clay soils, it is possible to increase the CBR values.

This research applies the stabilization of the soil of route N ° LI-810 with trajectory: Emp. PE-3N (Quiruvilca) - Bandurria with white steel slag from SIDERPERU. Three different percentages of white slag were used according to the weight of the sample (7.5%, 15% and 22.5%) in the CBR test.

Laboratory tests provided favorable results with increased bearing capacity (CBR). Analyzing the effects of stabilization, it was determined that 10% of white steel slag according to the weight of the sample, is the optimal percentage that manages to increase its CBR to 3% (minimum percentage established by the Ministry of Transportation and Communications) and transform it from an unsuitable subgrade to a poor subgrade that can be used for highway purposes.

Keywords: [subgrade; steel slag; stabilization; clay]

**INDICE:**

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>8</b>
<b>2</b>	<b>ESTADO DEL ARTE .....</b>	<b>9</b>
<b>3</b>	<b>HERRAMIENTAS Y METODOLOGIA .....</b>	<b>10</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>12</b>
<b>5</b>	<b>DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....</b>	<b>14</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>15</b>
<b>7.</b>	<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>16</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>TABLA 1. RESULTADOS DE ENSAYO ÍNDICE DE PLASTICIDAD CON ESCORIA KR.</b>	<b>9</b>
<b>TABLA 2. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE CONSISTENCIA .....</b>	<b>10</b>
<b>TABLA 3. ENSAYO DE GRANULOMETRÍA POR TAMIZADO .....</b>	<b>10</b>
<b>TABLA 4. RESULTADOS DEL ENSAYO DE LÍMITES DE CONSISTENCIA .....</b>	<b>11</b>
<b>TABLA 5. CLASIFICACIÓN AASHTO Y SUCS.....</b>	<b>11</b>
<b>TABLA 6. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS PROCTOR Y CBR. ....</b>	<b>11</b>
<b>TABLA 7. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO DE LAS MUESTRAS MEZCLADAS CON ESCORIA DE ACERO BLANCA.....</b>	<b>12</b>
<b>TABLA 8. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE LÍMITES DE CONSISTENCIA DE LAS MUESTRAS MEZCLADAS CON ESCORIA DE ACERO BLANCA. ....</b>	<b>12</b>
<b>TABLA 9. CLASIFICACIÓN ASSHTO Y SUCS DE LAS MUESTRAS MEZCLADAS CON ESCORIA DE ACERO BLANCA. ....</b>	<b>12</b>
<b>TABLA 10. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE RESISTENCIA (PROCTOR Y CBR) DE LAS MUESTRAS MEZCLADAS CON ESCORIA DE ACERO BLANCA. ....</b>	<b>13</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>FIGURA 1. RELACIÓN CBR VS % ESCORIA DE ACERO BLANCA. ....</b>	<b>13</b>
--	-----------



## 1 INTRODUCCIÓN

El análisis de suelos para el uso de subrasante con fines viales ha sido motivo de diversos estudios principalmente cuando se presentan arcillas, las cuales poseen en la mayor parte de los casos, propiedades físicas y mecánicas desfavorables [1].

Un suelo arcilloso presenta propiedades físicas y mecánicas desfavorables cuando posee un valor de capacidad de soporte (CBR) bajo [2]. Según el manual de carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos (sección suelos y pavimentos) del Ministerio de Transporte y Comunicaciones, un suelo con valor de CBR menor a 3% es calificado como una subrasante inadecuada [3].

En el distrito de Quiruvilca, provincia de Santiago de Chuco, departamento de La Libertad, se identificó en la ruta N°LI-810 con trayectoria: Emp.PE-3N (Quiruvilca) – Bandurria [4] que la subrasante está conformada por una arcilla con un CBR menor a 3%.

Esta ruta al ser el único acceso vial al distrito de Bandurria desde Quiruvilca requiere atención para mejorar las condiciones de transitabilidad, planteando para ello, una alternativa de mejoramiento que permita aumentar su capacidad de soporte y por ende mejorar sus condiciones de servicio.

Diversos estudios demuestran que la escoria de acero blanca actúa favorablemente como aditivo estabilizante; debido a su alto contenido de óxido de cal [5], tal que actúa como elemento cementante al mezclarse con el suelo. Además, la escoria de acero blanca resulta ser más económica que la cal, también, desde un punto de vista ambiental, la escoria de acero blanca es un desperdicio del proceso de refinado de los metales, por lo cual sería reutilizado y reduciría los desechos generados por las plantas de acero [6].

Este artículo tiene como finalidad contribuir con la investigación de este elemento como agente estabilizante y aumentar el nivel de confianza que se requiere para su uso en el país. Adicionalmente el trabajo pretende generar mayores investigaciones sobre este material considerando la diversidad de suelos arcillosos existentes en el país.

## 2 ESTADO DEL ARTE

En el mundo se han realizado aplicaciones de escoria de acero como estabilizador de suelos arcillosos. Por ejemplo, El artículo de Pires, Sudo Lutf Teixeira, Nepomuceno y Furieri, quienes llevaron a cabo una investigación en la red vial brasileña, donde se encontró un tramo crítico conformado por suelo arcilloso identificado según AASTHO como un suelo A-7-6; presenta la opción de utilizar escoria de acero de desulfuración del proceso del reactor Kambara (Escoria KR) para la estabilización de dicho suelo.[7]

Para determinar la estabilización se realizaron ensayos con diferentes porcentajes de muestra (utilizando 15%, 20% y 25% en peso, de escoria). Los resultados finales para la estabilización mostraron una disminución del índice de plasticidad del suelo natural (S1) y un aumento en los valores de resistencia tal como se muestran en las tablas 1 y 2.

*Tabla 1. Resultados de ensayo índice de plasticidad con escoria KR. FUENTE:[7]*

Soil	Mixture	Energy	OMC (%)	$\gamma_{drymax}$ (g/cm <sup>3</sup> )	Expansion (%)	CBR (%)	RM (Mpa)
S1	S1	Intermediary	17.0	1.752	0.02	22.7	-
		Modified	16.3	1.808	0.00	25.3	-
	S1KR15%	Intermediary	18.0	1.772	0.00	47.8	2,212.6
		Modified	16.1	1.849	0.04	132.0	2,211.6
	S1KR20%	Intermediary	17.4	1.804	0.01	81.2	1,491.9
		Modified	15.5	1.853	0.03	103.2	1,107.9
	S1KR25%	Intermediary	18.0	1.877	0.00	69.5	-
		Modified	15.5	1.886	0.02	118.6	-

Esta información presenta a un suelo estabilizado con similares características las registradas en la ruta N°LI-810 con trayectoria: Emp.PE-3N (Quiruvilca) – Bandurria.

Tabla 2. Resultados de los ensayos de consistencia FUENTE:[7]

Soil	Mixture	Unit mass			
		(g/cm <sup>3</sup> )	LL (%)	LP (%)	PI (%)
S1	S1	2.65	49.0	24.8	24.2
	S1KR15%	2.73	43.3	29.5	13.8
	S1KR20%	2.74	42.1	29.8	12.3
	S1KR25%	2.76	43.0	31.7	11.3

### 3 HERRAMIENTAS Y METODOLOGIA

El presente trabajo se realizó bajo el sistema del método científico, debido a que se llevó a cabo los pasos de observación, formulación del problema, planteamiento de objetivos, hipótesis, recolección de datos, experimentación, análisis, discusión de resultados y comprobación de la hipótesis.

Para poder continuar con el análisis de la estabilización del suelo arcilloso de la ruta N°LI-810 con trayectoria: Emp.PE-3N (Quiruvilca) – Bandurria (Suelo C1) con escoria de acero blanca proveniente de la planta metalúrgica de la empresa SIDERPERU ubicada en el departamento de Chimbote (Escoria PE).

En primer lugar, se determinaron las características físicas del suelo y la escoria de acero blanca (análisis granulométrico, límites de Atterberg, clasificación SUCS y ASSHTO) y se realizó los ensayos de resistencia: Proctor modificado y CBR al Suelo C1.

En las siguientes tablas muestran los valores de clasificación al suelo C1 y escoria de acero blanca.

En la tabla 3 se muestra que el suelo arcilloso tiene un contenido de 44.01% de partículas mayores a la malla n°200. Lo que implica la presencia de material granular en el suelo

Tabla 3. Ensayo de granulometría por tamizado FUENTE: Propia

Muestra	Profundidad(m)	Retiene Tamiz N° 200	Pasa Tamiz N° 200
C1	0.40 – 1.50	44.01 %	55.99 %

Se puede observar en la tabla 4 que el suelo presenta un Limite Liquido mayor a 50%, por lo cual se tuvo que verificar la actividad de la arcilla. Según el método de A. W.

Skempton[8], la arcilla presenta una actividad de 0.61, lo cual la clasificaría como una arcilla inactiva.

*Tabla 4. Resultados del Ensayo de límites de consistencia FUENTE: Propia*

Muestra	Profundidad(m)	LL (%)	LP (%)	IP
C1	0.40 – 1.50	51	24	27

La muestra extraída se clasifica según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) como CH, arcilla de alta plasticidad. Esta muestra también es clasificada según la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) como un A-7-6 (12). En la tabla 5 y 6 se muestran los siguientes resultados.

*Tabla 5. Clasificación AASHTO y SUCS. FUENTE: Propia*

Muestra	Profundidad(m)	SUCS	AASHTO
C1	0.40 – 1.50	CH	A-7-6 (12)

*Tabla 6. Resultados de los ensayos Proctor y CBR. FUENTE: Propia*

Muestra	MDS (g/cm <sup>3</sup> )	OCH (%)	CBR (%) 95%
C1	1.885	12.3	1.5

Para determinar el rango del peso óptimo de escoria de acero blanca utilizada en los ensayos, se tomó de base investigaciones previas en las cuales se estudiaba arcillas de similares características. En estas investigaciones se determinó que el CBR aumentó entre 85 a 308% con adición de 10, 12 y 20% de escoria de acero. Por esta razón, para nuestra investigación se definieron los valores de 7.5%, 15% y 22.5% en peso de escoria de acero blanca.

#### 4 RESULTADOS

En función a los ensayos de laboratorios realizados para determinar las características físicas y mecánicas de la escoria de acero blanca y el suelo en investigación Al término de la identificación y valores de resistencia del suelo, se procedió a realizar las mezclas (suelo C1 + escoria de acero blanca). Para la evaluación de los valores, se trabajó con 7.5%, 15% y 22.5% de porcentaje de escoria PE según al peso del suelo C1. En las tablas 7, 8, 9 y 10 se muestran los valores mejorados por la adición de escoria PE

**Tabla 7. Resultados de los ensayos granulométrico por tamizado de las muestras mezcladas con escoria de acero blanca. FUENTE: Propia**

Muestra	% de Escoria	Retiene Tamiz N° 200	Pasa Tamiz N° 200
1	7.5	56.03 %	43.97 %
2	15	55.88 %	44.12 %
3	22.5	60.09 %	39.91 %

**Tabla 8. Resultados de los ensayos de límites de consistencia de las muestras mezcladas con escoria de acero blanca. FUENTE: Propia**

Muestra	% de Escoria	LL (%)	LP (%)	IP
1	7.5	47	23	24
2	15	46	22	24
3	22.5	47	23	24

**Tabla 9. Clasificación ASSHTO y SUCS de las muestras mezcladas con escoria de acero blanca. FUENTE: Propia**

Muestra	% de Escoria	SUCS	AASHTO
1	7.5	SC	A-7-6 (6)
2	15	SC	A-7-6 (6)
3	22.5	SC	A-7-6 (5)

Tabla 10. Resultados de los ensayos de resistencia (Proctor y CBR) de las muestras mezcladas con escoria de acero blanca. FUENTE: Propia

Muestra	% de Escoria	MDS (g/cm3)	OCH (%)	CBR (%) 95%
1	7.5	1.986	11	2.7
2	15	2.000	10.6	4.6
3	22.5	2.059	9.6	5.3

Realizando un análisis de los datos obtenidos en las pruebas de laboratorio se pudo construir la figura 1.

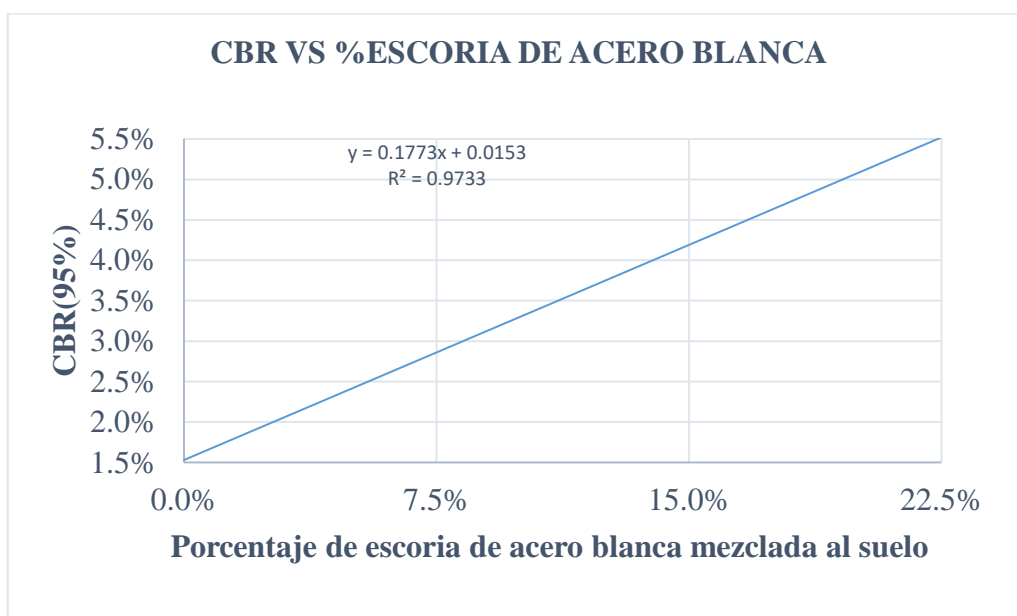


Figura 1. Relación CBR vs % Escoria de acero blanca. FUENTE: Propia

En la Figura 1 se muestra la ecuación de la relación de porcentaje de escoria de acero blanca y CBR, despejando x (variable de escoria de acero blanca mezclada al suelo) en esta fórmula empírica se obtiene la siguiente ecuación para hallar el porcentaje de escoria de acero necesaria para cualquier CBR solicitado entre los rangos de 1.5% y 5.3%:

$$x = \frac{Y - 0.0153}{0.1773}$$

Donde:

*x*: Porcentaje de escoria de acero blanca que se añade al suelo

*y*: Porcentaje de CBR obtenido

Según el manual de carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos (Sección Suelos y Pavimentos) del Ministerio de Transporte y Comunicaciones, el porcentaje de CBR mínimo de un suelo para uso de subrasante es de 3%. De acuerdo con esto y considerando la ecuación anterior se requiere que el porcentaje de escoria de acero blanca sea 8.3%. Debido a que la ecuación presenta una correlación de  $R=0.9733$ , se aplicó un incremento de 20% al valor de porcentaje de escoria determinado con la expresión.

$$x = 8.30\% \times 1.20$$

$$x = 9.96 \cong 10.0\%$$

Según los cálculos efectuados el 10% de escoria de acero blanca sería lo suficiente para mejorar las condiciones de la capacidad de soporte de la subrasante evaluada.

## 5 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

De acuerdo con la investigación “Laboratory and Field Evaluation of KR Slag-Stabilized Soil for Paving Applications” en la cual se estudia un suelo con un CBR inicial de 22.70% para posteriormente adicionarle 20% de escoria de acero blanca. Con este tratamiento, se logra obtener un CBR final de 103.20%, es decir se obtiene un aumento porcentual de 308% de los valores de resistencia de california. [7]

Esos resultados son similares a los alcanzados en nuestra investigación, en la cual se adiciona un 22.5% de escoria de acero blanca, aumentando el CBR de un 1.5% a un 5.3%, lo que resulta en un aumento porcentual del CBR de 353%.

Otra de las investigaciones que sustenta los resultados obtenidos es la “Stimulation Behaviour Study on Clay Treated with Ground Granulated Blast Slag and Groundutshell Ash” [9]. En la cual, se estudia un suelo con un CBR de 3.60% al que se le adiciono un 10% de escoria de acero blanca obteniendo un CBR de 5%. Esto representaría un aumento porcentual del 85%.

En nuestra investigación, se adiciono 7.5% de escoria de acero blanca mejorando el CBR de un 1.5% a un 2.7%, es decir, obteniendo un aumento porcentual de 80%, lo cual se asemeja mucho a la investigación anterior.

## 6 CONCLUSIONES

•El valor de California Bearing Ratio (CBR) al 95% de la máxima densidad seca (MDS) de la muestra natural fue de 1.5% mientras que para las mezclas de suelo con 7.5%, 15% y 22.5% de escoria de acero blanca fue de 2.7%, 4.6% y 5.3% respectivamente. De acuerdo con el manual de carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos (sección suelos y pavimentos) del Ministerio de Transporte y Comunicaciones estos valores demuestran que con la adición de 7.5% escoria de acero blanca en la subrasante natural aún se mantiene como una subrasante inadecuada. Sin embargo, con las adiciones de 15% y 22.5% el suelo ya es calificado como una subrasante pobre. Además, según la Norma CE.010 (Pavimentos urbanos) [10], el suelo en estado natural y el adicionado con 7.5% de escoria de acero sería clasificado como una subrasante pobre ya que cuentan con un CBR menos a 3%. Por otro lado, el suelo adicionado con 15% y 22.5% de escoria de acero blanca sería clasificada como una subrasante regular porque se encuentra dentro del rango de  $3% < \text{CBR} < 8\%$ .



## 7. REFERENCIAS

- [1] H. Purwanto, A. Setiobudi, and R. K. Rustam, "Stabilization of soft clay soil using a gypsum plafond waste based on CBR testing," *Int. J. Sci. Technol. Res.*, vol. 9, no. 2, pp. 963–968, 2020.
- [2] H. K. Preetham, S. Nayak, and E. V. Surya, "Experimental investigation on the stabilization of soft clay using granulated blast furnace slag," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 561, no. 1, pp. 0–6, 2019, doi: 10.1088/1757-899X/561/1/012047.
- [3] MTC-Ministerio de Transportes y Comunicaciones, "MANUAL DE CARRETERAS MC-05-14 Seccion Suelos y pavimentos." p. 301, 2014.
- [4] MTC, "Actualizacion del clasificador de rutas del sistema nacional de carreteras - SINAC," p. 242, 2016.
- [5] C. A. Mozejko and F. M. Francisca, "Enhanced mechanical behavior of compacted clayey silts stabilized by reusing steel slag," *Constr. Build. Mater.*, vol. 239, p. 117901, 2020, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2019.117901.
- [6] F. Hidalgo, J. Saavedra, C. Fernandez, and G. Duran, "Stabilization of clayey soil for subgrade using rice husk ash (RHA) and sugarcane bagasse ash (SCBA)," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 758, no. 1, 2020, doi: 10.1088/1757-899X/758/1/012041.
- [7] P. M. Pires, J. E. Sudo Lutf Teixeira, D. V. Nepomuceno, and E. C. Furieri, "Laboratory and Field Evaluation of KR Slag-Stabilized Soil for Paving Applications," *J. Mater. Civ. Eng.*, vol. 31, no. 9, pp. 1–12, 2019, doi: 10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0002811.
- [8] A. W. Skempton, "The Colloidal 'Activity' of Clays," *Sel. Pap. Soil Mech.*, pp. 60–64, 1984, doi: 10.1680/sposm.02050.0009.
- [9] A. Manimaran, S. Seenu, and P. T. Ravichandran, "Stimulation behaviour study on clay treated with ground granulated blast slag and groundnutshell ash," *Int. J. Eng. Trans. B Appl.*, vol. 32, no. 5, pp. 673–678, 2019, doi: 10.5829/ije.2019.32.05b.08.
- [10] C. y S. Ministerio de Vivienda, "NORMA CE.010," Lima, 2010.