

The background image shows an industrial facility, likely a steel mill or slag processing plant. In the foreground, there is a large, conical pile of dark, granular industrial slag. Behind the pile, there are various industrial structures, including a yellow machine with safety railings, pipes, and structural steel. The scene is dimly lit, with some light sources visible in the background.

**FACTIBILIDAD TÉCNICA EN LA
APLICACION DE ESCOMBROS DE
ESCORIA INDUSTRIAL PARA USO EN
OBRAS DE INGENIERÍA.**

**TECHNICAL FEASIBILITY IN THE
APPLICATION OF INDUSTRIAL SLAG
FOR USE IN ENGINEERING WORKS.**

● Ing. Mario Alejandro Evia Escalante, SENA,
Centro de Diseño e Innovación Tecnológica
Industrial, Sena Regional Risaralda, Colombia,
ing.alejandroevia@gmail.com

Resumen

En el presente artículo se exhibirán los resultados experimentales obtenidos al generar una dosificación entre el suelo a estudiar y la escoria y de esta manera proporcionar unas cantidades óptimas de este material (escoria) en la mejoría de su capacidad de carga para dar un posible uso en la ingeniería, que sirva como alternativa de mejoramiento del suelo y base para estudios posteriores realizados a través de semilleros de investigación SENA.

Palabras claves: Escoria, Compresión Inconfinada, Estabilización, Probetas, Cohesión, Consistencia del suelo.

Abstract

This paper will show the experimental results obtained by generating a dosage between the soil to be studied and the industrial slag and thus provide optimal amounts of this material (industrial slag) in the improvement of its load capacity to give a possible use in engineering, which serves as an alternative for soil improvement and basis for further studies conducted through SENA research workshops.

Keywords: Slag, Unconfined Compression, Stabilization. Test Tubes, Cohesion, Soil Consistency

Introducción

En Colombia, el sector de la construcción actualmente se ha caracterizado, por la ausencia de buenas prácticas profesionales, una de ellas tiene que ver con la conformación de los llenos, debido a los costos de adecuación y la falta de control de calidad, las cuales crean condiciones de suelo diferentes a las ideales en cuanto a su colocación ya que sin un adecuado manejo, resultaría poco recomendable para dicho proceso constructivo, creándose un grupo de condiciones no adecuadas para cimentaciones en casos superficiales como son; la poca resistencia, rigidez, grandes asentamientos e incapacidad de soportar esfuerzos y deformaciones ante cualquier tipo de carga considerable, pasando por alto las determinaciones, procedimientos y especificaciones de las normatividades vigentes de nuestro país NSR-10 e Invias.

En Pereira, la microzonificación sísmica muestra la existencia de llenos distribuidos en toda la zona urbana, es por esta razón que surge la necesidad de investigar en esta zona, la conformación de dichos llenos y se genera la idea de observar el comportamiento físico y mecánico del suelo existente adicionando porcentajes de escoria mediante una dosificación entre el suelo a estudiar y este, proporcionando cantidades óptimas de escoria en la mejora de su capacidad de carga y a su vez dando un aprovechamiento y uso al desecho del residuo industrial, generando un posible uso en la ingeniería y al mismo tiempo suscitar una alternativa de mejoramiento del suelo, además de buscar generar una alternativa de reutilización de residuos ya que en la mayoría de los casos se depositan en zonas no adecuadas, provocando un alto índice de contaminación.

Según (Marquez, 2005) la estabilización

mecánica de un material consiste en ganar capacidad portante en el material recurriendo a ciertas modificaciones en él, sin necesidad de incorporar agentes externos que modifiquen sus orígenes o su naturaleza. Siendo esta la razón para trabajar en una dosificación con un residuo industrial como la escoria.

La escoria (Regueira, 2011) como lo acabamos de nombrar es un residuo industrial formado fundamentalmente por calcio, hierro y silicato de magnesio, que se obtiene por las reacciones químicas que tienen lugar en los procesos de formación de los metales.

Las escorias generadas en la producción de acero por el proceso de horno de arco eléctrico son, en su mayoría, de dos tipos: oxidantes y reductoras o negras y blancas, respectivamente. Esta nomenclatura se debe a las dos etapas de las que consta dicho procedimiento que son: fusión (marcha oxidante) y afino (marcha reductora) (Amaral de Lima, 1999)

La escoria negra se obtiene en la primera etapa del proceso y está compuesta principalmente por óxido de hierro, calcio, silicio y aluminio.

De esta se genera un volumen mucho mayor que de la escoria blanca, la cual posee una cantidad alta de finos provenientes del fenómeno de pulverización del silicato bicálcico durante el enfriamiento de la escoria.

Por lo tanto, es necesario seleccionar un suelo como objeto de estudio, según la microzonificación sísmica de Pereira se tienen diferentes tipos de suelo y uno de ellos en este caso suelos finos tipo limo-arcillosos que se trabajara como muestra piloto dentro del CDIT.

propuesta pondrá el CDIT como pionero en la región en sistemas de estabilización de suelos y materiales, como también en la reutilización de desechos constructivos; lo cual fortalecerá el enfoque Investigativo del centro e impactará en las obras de Ingeniería en beneficio de la población.

Para llevar a cabo la investigación, se seleccionaron suelos en el sector de la vía Altagracia Pereira, Colombia, en la urbanización Santa Clara, que según la microzonificación sísmica se cataloga como zona de lleno y apta para ser estabilizados, además de su de fácil acceso para la toma de muestras y realización de evaluación de las condiciones físico-mecánicas naturales y compararlas con técnicas de mejoramiento de resistencia a la compresión confinada a diferentes dosificaciones para determinar que al mezclar el suelo con material proveniente de residuo industrial (escoria), se logra una mejor capacidad de carga bajo una misma energía de compactación a la obtenida en el suelo original.

Se tienen antecedentes no solo locales sino nacionales y a nivel internacional de investigaciones que han evidenciado la mejora en las condiciones mecánicas con el uso de diferentes materiales estabilizadores, tal como lo expone (Ortega López, 2011), donde empleó escorias blancas de horno de cuchara (siglas en inglés LFS: ladle furnace slag) y escorias negras de horno eléctrico de arco (siglas en inglés EAFS: slag from electric arc furnace), en la estabilización de suelos arcillosos de mala calidad, a los que adicionalmente les agregó cal, alcanzando un mejoramiento en algunas de las propiedades del suelo, como expansividad, capacidad portante y resistencia.

El buen término de la investigación

A nivel nacional Quintana, (Rondón-

Quintana et al., 2018) realizaron un estudio basado en el uso de escorias de alto horno (BFS por sus siglas en inglés) o escoria de acero (SS por sus siglas en inglés) como sustituyentes de los materiales pétreos naturales en la fabricación de mezclas asfálticas; en donde evidenciaron la desventaja al sustituir en su totalidad el material pétreo por escoria de acero, debido a su porosidad y rugosidad superficial; empleando de esta manera mayor cantidad de asfalto.

La pregunta sería, es posible mejorar las condiciones mecánicas (Resistencia a la compresión) de los suelos.

Para dar respuesta a esta pregunta se han planteado varios objetivos, entre ellos tenemos.

- Obtener una dosificación optima que nos arroje los mejores de resistencia a la compresión.
- Evaluar la resistencia a la compresión con diferentes dosificaciones de la mezcla suelo-escoria industrial.
- Realizar pruebas de laboratorio (ensayos de resistencia) para cada dosificación propuesta.
- Análisis de datos de resistencia en cada una de las dosificaciones y selección del porcentaje de escoria que mejora la resistencia a la compresión del suelo.

Métodos o Diseño Metodológico

Para esta primera fase experimental se trabajó con las siguientes dosificaciones de adición del residuo: 10%, 15%, 20% y 25% de

escoria para verificar los resultados obtenidos en el laboratorio con respecto a la resistencia a la compresión inconfiada y cohesión dependiente a la plasticidad del suelo teniendo en cuenta que se obtuvieron ciertos beneficios como: reducción de costos, la disponibilidad del insumo, en este caso de este residuo no estuvo sujeto a condiciones climáticas o ambientales y es un producto sostenible puesto que ayuda a la disminución de la explotación de ríos y canteras.

Se inició a evaluando el suelo natural del sitio para poder obtener su caracterización natural sin ningún tipo de adiconamiento de sustancia extraña, partiendo de estos resultados los cuales llamaremos resultados patrón ya que serán nuestra referencia para los demás resultados esperados, se comenzó a realizar las dosificaciones indicadas y de esta manera, por medio del ensayo de compresión inconfiada determinamos si los resultados obtenidos cumplen con la estimación deseada y observar si la capacidad aportante del suelo, baja, sube o se mantiene estable.

Por otra parte, el ensayo de compresión inconfiada, Figura 1 brindo como resultado los esfuerzos resultantes de la compresión de los especímenes de diseño de mezcla suelo-escoria, que permitieron establecer de forma directa el parámetro mecánico "Cohesión" mediante la aplicación de una carga axial y una deformación controlada, utilizando una muestra tallada en forma de cilindro que cumpla una relación de altura - diámetro 2:1 es decir que la altura fue de 2 veces el diámetro como se muestra en la Figura 2.

Figura 1.

Compresión Inconfinada



Nota: Elaboración - laboratorio de suelos - Centro de Diseño e Innovación Tecnológica industrial (2021).

Figura 2

Probetas cilíndricas



Nota: Elaboración - laboratorio de suelos - Centro de Diseño e Innovación Tecnológica industrial (2021).

La curva que relaciona esfuerzo y deformación unitaria, Figura 3, donde el esfuerzo máximo $O1$ corresponde al pico de la curva y a su vez según la teoría de Mohr Coulomb corresponde al diámetro del círculo que lleva el mismo nombre del autor (círculo de Mohr).

Se asume el esfuerzo $O3$ como cero debido a que el ensayo de compresión inconfinada contempla un solo eje del espécimen.

Figura 3.

Esfuerzo vs deformación unitaria del suelo Natural.



Nota: Elaboración propia - laboratorio de suelos - Centro de Diseño e Innovación Tecnológica industrial.

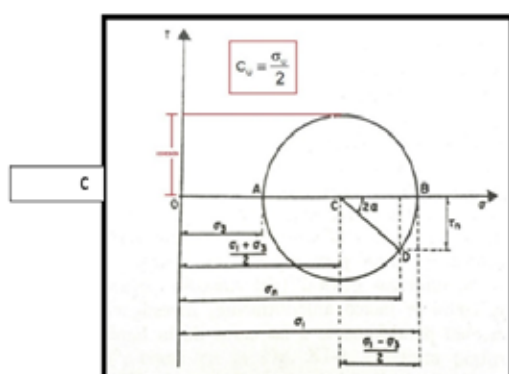
La Figura 3, corresponde a una de las probetas ensayadas a la compresión del suelo natural, según los datos obtenidos en este ensayo.

Se observa como valor de $O1$ el esfuerzo máximo normal correspondiente a 0.8961 Kg/cm^2 , lo que significa que es un suelo de consistencia blanda.

Lo que determina el valor de la cohesión, es una línea tangente horizontal en la parte superior al círculo y que corta el eje de las ordenadas, pero otro modo de análisis define el radio del círculo como representación del valor de la cohesión como se muestra en la figura siguiente y se define por la ecuación de Mohr Coulomb.

Figura 4.

Valor de la cohesión



Nota: Juárez & Rico, 2008

El valor de la cohesión será entonces la mitad del máximo valor de la resistencia a la compresión. Tabla 1 que, para nuestro caso para esta probeta, el valor de la cohesión para el suelo natural sería 0.445 Kg/cm² este valor indica una consistencia del suelo blanda haciendo referencia a la firmeza con la que naturalmente cuenta el suelo, característica propia del material que contiene esa adherencia entre las mismas partículas que la componen debido a la atracción entre ellas, es decir su capacidad máxima antes de ser deformada o colapsada al ser sometido a una carga axial.

Tabla 1.

Consistencia del suelo

Consistencia del Suelo	Resistencia a la compresión Inconfinada (Kg/m ²)
Muy blanda	< 0.25
Blanda	0.25 - 0.50
Mediana	0.50 - 1.00
Firme	1.00 - 2.00
Muy firme	2.00 - 4.00
Dura	> 4.00

Nota: INVE-152-13 Instituto Nacional de Vías (2013)

Se dispone a iniciar la fase experimental en donde a los porcentajes propuestos se les determinará cual es la consistencia más favorable según las dosificaciones indicadas, aportando un buen uso del residuo sin afectar la resistencia del material, buscando la alternativa de mejora de la misma y generando un proyecto amigable con el medio ambiente, con cada una de ellas se elaborarán probetas entre el suelo a estudiar y la escoria, que proporcione unas cantidades óptimas de este material a las cuales se les efectuara pruebas de compresión confinada (suelos) para determinar la resistencia a la compresión simple y establecer un valor aproximado de cohesión.

El buen término de la investigación propuesta pondrá el CDITI como pionero en la región en sistemas de estabilización de suelos y materiales, como también en la reutilización de desechos constructivos; lo cual fortalecerá el enfoque Investigativo del centro e impactará en las obras de ingeniería en beneficio de la población.

Análisis de resultados.

Resultados fase experimental

En la Tabla 2. Se encuentran los resultados obtenidos en el laboratorio después de realizada la prueba de compresión inconfiada para el suelo natural y los porcentajes a trabajar de (suelo - escoria) correspondientes a las siguientes dosificaciones: 10%, 15%, 20% y 25%.

Tabla2.

Consolidado de resultados de laboratorio.

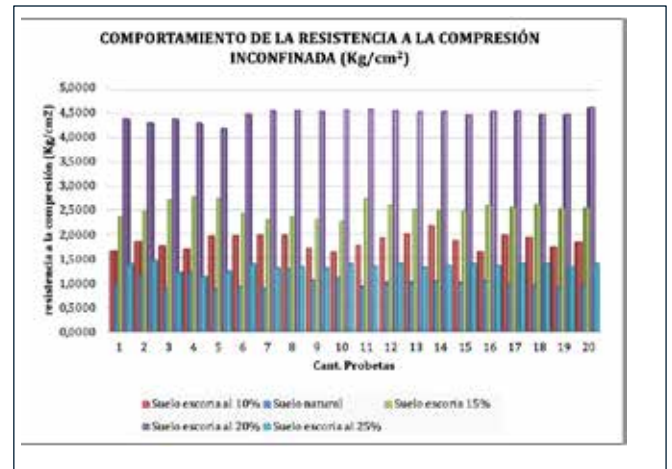
Suelo natural				10%				15%				20%				25%			
# Probetas	Resistencia (Kg/cm²)	Resistencia (Kg/cm²)	Resistencia (Kg/cm²)	# Probetas	Resistencia (Kg/cm²)	Resistencia (Kg/cm²)	Resistencia (Kg/cm²)	# Probetas	Resistencia (Kg/cm²)	Resistencia (Kg/cm²)	Resistencia (Kg/cm²)	# Probetas	Resistencia (Kg/cm²)	Resistencia (Kg/cm²)	Resistencia (Kg/cm²)	# Probetas	Resistencia (Kg/cm²)	Resistencia (Kg/cm²)	Resistencia (Kg/cm²)
1	1.000	0.40	21	1.000	0.40	41	2.500	1.10	41	4.800	2.10	41	1.800	0.80	41	1.800	0.80	41	1.800
2	1.000	0.40	22	1.000	0.40	42	2.500	1.10	42	4.800	2.10	42	1.800	0.80	42	1.800	0.80	42	1.800
3	1.000	0.40	23	1.000	0.40	43	2.500	1.10	43	4.800	2.10	43	1.800	0.80	43	1.800	0.80	43	1.800
4	1.000	0.40	24	1.000	0.40	44	2.500	1.10	44	4.800	2.10	44	1.800	0.80	44	1.800	0.80	44	1.800
5	1.000	0.40	25	1.000	0.40	45	2.500	1.10	45	4.800	2.10	45	1.800	0.80	45	1.800	0.80	45	1.800
6	1.000	0.40	26	1.000	0.40	46	2.500	1.10	46	4.800	2.10	46	1.800	0.80	46	1.800	0.80	46	1.800
7	1.000	0.40	27	1.000	0.40	47	2.500	1.10	47	4.800	2.10	47	1.800	0.80	47	1.800	0.80	47	1.800
8	1.000	0.40	28	1.000	0.40	48	2.500	1.10	48	4.800	2.10	48	1.800	0.80	48	1.800	0.80	48	1.800
9	1.000	0.40	29	1.000	0.40	49	2.500	1.10	49	4.800	2.10	49	1.800	0.80	49	1.800	0.80	49	1.800
10	1.000	0.40	30	1.000	0.40	50	2.500	1.10	50	4.800	2.10	50	1.800	0.80	50	1.800	0.80	50	1.800
11	1.000	0.40	31	1.000	0.40	51	2.500	1.10	51	4.800	2.10	51	1.800	0.80	51	1.800	0.80	51	1.800
12	1.000	0.40	32	1.000	0.40	52	2.500	1.10	52	4.800	2.10	52	1.800	0.80	52	1.800	0.80	52	1.800
13	1.000	0.40	33	1.000	0.40	53	2.500	1.10	53	4.800	2.10	53	1.800	0.80	53	1.800	0.80	53	1.800
14	1.000	0.40	34	1.000	0.40	54	2.500	1.10	54	4.800	2.10	54	1.800	0.80	54	1.800	0.80	54	1.800
15	1.000	0.40	35	1.000	0.40	55	2.500	1.10	55	4.800	2.10	55	1.800	0.80	55	1.800	0.80	55	1.800
16	1.000	0.40	36	1.000	0.40	56	2.500	1.10	56	4.800	2.10	56	1.800	0.80	56	1.800	0.80	56	1.800
17	1.000	0.40	37	1.000	0.40	57	2.500	1.10	57	4.800	2.10	57	1.800	0.80	57	1.800	0.80	57	1.800
18	1.000	0.40	38	1.000	0.40	58	2.500	1.10	58	4.800	2.10	58	1.800	0.80	58	1.800	0.80	58	1.800
19	1.000	0.40	39	1.000	0.40	59	2.500	1.10	59	4.800	2.10	59	1.800	0.80	59	1.800	0.80	59	1.800
20	1.000	0.40	40	1.000	0.40	60	2.500	1.10	60	4.800	2.10	60	1.800	0.80	60	1.800	0.80	60	1.800
Promedio	1.000	0.40	Promedio	1.000	0.40	Promedio	1.000	0.40	Promedio	1.000	0.40	Promedio	1.000	0.40	Promedio	1.000	0.40	Promedio	1.000

Nota: Elaboración propia - laboratorio de suelos - Centro de Diseño e Innovación Tecnológica industrial

En la Figura 5. Se observa el comportamiento de cada una de las dosificaciones alcanzadas en la fase experimental, en donde se nota la dispersión por cada una de las probetas ensayadas, en total se realizaron 100 probetas, 20 por cada porcentaje para obtener un buen número de muestras y así lograr una población significativa.

Figura 5.

Comportamiento de dosificaciones.
Valor de la cohesión



Nota: Elaboración propia - laboratorio de suelos - Centro de Diseño e Innovación Tecnológica industrial.

Según los resultados obtenidos en la fase experimental se obtienen los siguientes valores promedios los cuales son clasificados según su valor de cohesión para así poder determinar cuál es su consistencia y verificar que porcentaje es el adecuado para nuestra investigación.

Tabla 3.

Promedio de resultados y clasificación. Valor de la cohesión

MATERIAL	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN INCONFINADA (Kg/m²)	COHESION (Kg/m²)	CONSISTENCIA DEL SUELO
SUELO NATURAL	1.000	0.50	MEDIANA
SUELO ESCORIA AL 10%	1.849	0.92	FIRME
SUELO ESCORIA AL 15%	2.514	1.26	MUY FIRME
SUELO ESCORIA AL 20%	4.465	2.23	DURA
SUELO ESCORIA AL 25%	1.335	0.67	FIRME

Nota: Elaboración propia - laboratorio de suelos - Centro de Diseño e Innovación Tecnológica industrial.

Partiendo de los valores alcanzados por la muestra patrón (Suelo natural), se analizan los resultados restantes. Para la primera dosificación (Suelo - Escoria 10%) se observa un incremento en la resistencia a la compresión brindando una consistencia del suelo más firme clasificada dentro de la consistencia firme.

Continuando con el trabajo investigativo seguimos con la dosificación (Suelo - Escoria 15%) observando que la resistencia incrementa aumentando de igual manera en su consistencia ya que pasa de firme a muy firme.

Seguimos con la dosificación (Suelo - Escoria 20%) se observa un alto incremento en la resistencia y en el valor de la cohesión pasando de consistencia muy firme a Dura, consistencia que garantiza mayor dureza y alto soporte a cargas axiales, se puede inferir que con este resultado se podría obtener el porcentaje óptimo de trabajo sin embargo se realiza una dosificación más correspondiente a (Suelo - Escoria 25%) en donde se evidencia que al adicionar un 5% más de escoria el resultado tiende a bajar su resistencia pasando de duro a firme lo que indica que de ahí en adelante a mayor cantidad de porcentaje de escoria se obtendrá menor valor de resistencia a la compresión.

Figura 7.

Gráfica de %de dosificación óptima. (Ver en párrafo siguiente)



Nota: Elaboración propia en el laboratorio de suelos - Centro de Diseño e Innovación Tecnológica industrial

La resistencia promedio a la compresión simple es de 1,00 Kg/cm², valor que concuerda con los datos consignados en la Tabla2 para el suelo natural y de Consistencia de suelos tabla3; en donde para un rango de 0,50 - 1.00 Kg/cm² se tiene una consistencia del suelo medianamente compacta o mediana.

Discusión y conclusiones

A través del análisis de los resultados obtenidos de los ensayos, se puede deducir que, el porcentaje optimo a trabajar en esta investigación según las dosificaciones realizadas comparadas con la muestra patrón, corresponde al 20% de escoria industrial, logrando obtener valores altos de resistencia a la compresión 4.465 Kg/cm² y de cohesión 2.23 Kg/cm², mediante este ensayo que permitió medir la última carga a la que un suelo es sometido y falla, optimizando considerablemente las características físicas y mecánicas (Calvo Duque, 2012) propiedades propias del suelo, las cuales permiten conocer la resistencia o capacidad de soporte del suelo estudiado; sin embargo, es

importante mencionar que este valor fue obtenido en un ambiente de laboratorio y no en el terreno. por ello la humedad y el proceso desarrollado para la fabricación de las probetas de ensayo es una variable muy importante en la realización de este trabajo; ya que condiciona los resultados obtenidos de las muestras ensayadas.

Referencias Bibliográficas

Amaral de Lima, L. (1999). Hormigones con escorias de horno eléctrico como áridos : propiedades, durabilidad y comportamiento ambiental (E. (Enric) Vázquez Ramonich (ed.)) [Dissertation, Tesi doctoral-UPC. Escola Tècnica Superior d'Enginyers de Camins, Canals i Ports, 1999]. <https://discovery.upc.edu/discovery/>

Calvo Duque, L. (2012). Evaluación de asentamientos y mejoramiento de las propiedades físico-mecáni...: Discovery Service para Universidad Libre de Pereira [Universidad Libre]. <https://eds.s.ebscohost.com/eds/detail/detail?vid=1&sid=97a6e639-1c27-471f-b3c2-9fbbd2ce95a7%40redis&bdat a=Jmxhbm9ZXMmc2lOZTlIZHMtbGl2ZQ%3D%3D#AN=ulb.358741&db=cat08642a>

Marquez, S. (2005). Estabilización de suelos. Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco.

Ortega López, V. (2011). Aprovechamiento de escorias blancas (LFS) y negras (EAFS) de acería eléctrica en la estabilización de suelos y en capas de firmes de caminos rurales. <https://doi.org/10.36443/10259/176>

Amaral de Lima, L. (1999). Hormigones con escorias de horno eléctrico como áridos : propiedades, durabilidad y comportamiento ambiental (E. (Enric) Vázquez Ramonich (ed.)) [Dissertation, Tesi doctoral-UPC. Escola Tècnica Superior d'Enginyers de Camins, Canals i Ports, 1999]. <https://discovery.upc.edu/discovery>

Regueira, M. B. (2011). Utilización de las escorias de acería como material de construcción. Ciencia & Futuro, 1(4), 31-40.