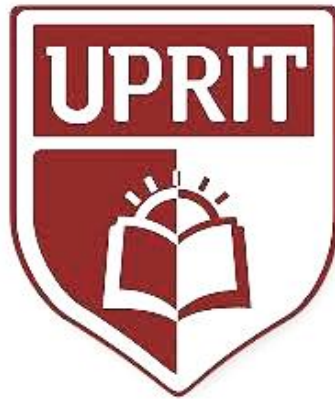


**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TRUJILLO  
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL**



**BASES TEORICAS PARA REALIZAR LA INVESTIGACION  
INFLUENCIA DE LA SODA CAUSTICA EN LA ESTABILIZACION DE  
SUELOS EN LA ZONA DE HUANCHACO – TRUJILLO, 2018**

**TRABAJO DE INVESTIGACION PARA  
OPTAR EL GRADO DE BACHILLER**

**AUTOR:  
Horacio Araujo Rodríguez**

**TRUJILLO - PERU  
2019**

## I. INDICE

<b>I. INTRODUCCION.....</b>	<b>5</b>
<b>1.1. Delimitación del problema que motiva el estado del arte .....</b>	<b>5</b>
<b>1.1.1. Campo temático.....</b>	<b>6</b>
<b>1.1.2. Espacio.....</b>	<b>6</b>
<b>1.1.3. Tiempo.....</b>	<b>6</b>
<b>1.2. Formulación del problema.....</b>	<b>7</b>
<b>1.3. Justificación del tema.....</b>	<b>7</b>
<b>1.3.1. Realidad Problemática.....</b>	<b>7</b>
<b>1.3.2. Aspectos Diferenciados de justificación .....</b>	<b>9</b>
<b>1.4. Objetivos.....</b>	<b>10</b>
<b>1.4.1. Objetivo General.....</b>	<b>10</b>
<b>1.4.2. Objetivo específicos.....</b>	<b>10</b>
<b>1.5. Procedimientos metodológicos seguidos.....</b>	<b>10</b>
<b>1.5.1. Técnica de recolección .....</b>	<b>10</b>
<b>1.5.2. Instrumentos de recolección .....</b>	<b>11</b>
<b>1.5.3. Fuentes de información.....</b>	<b>11</b>
<b>II. RESULTADOS RESPECTO A LOS ANTECEDENTES ESTADO DEL ARTE O ESTADO DE LA CUESTION .....</b>	<b>11</b>
<b>2.1. Antecedentes .....</b>	<b>11</b>
<b>2.1.1. Estabilización de suelos de alta plasticidad usando cemento portland en el Departamento de Lambayeque” .....</b>	<b>11</b>
<b>2.1.2. “Estabilización de suelos con el uso de emulsiones asfálticas catiónicas de rotura lenta. caso de estudio vía las mercedes – puerto nuevo, provincia de santo domingo de los tsachilas” .....</b>	<b>12</b>



---

2.1.3.	“Estabilización de suelos cohesivos por medio de arenas volcánicas y cal viva” .....	13
2.1.4.	“Elección y dosificación del conglomerante en estabilización de suelos” .....	13
2.1.5.	“Investigación de la estabilización de suelos con enzima aplicado a la sub-rasante de la avenida Quitumbe - Ñan, Cantón Quito” .....	14
2.1.6.	“Estabilización de suelos arcillosos con cenizas de carbón para su uso como subrasante mejorada y/o sub-base de pavimentos” .....	15
2.2.	Bases Teóricas .....	16
2.2.1.	Soda Cáustica .....	
2.2.2.	Suelos .....	
2.2.2.1.	Clasificación de Suelos .....	
III.	CONCLUSIÓN.....	43
IV.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	44
V.	ANEXOS .....	46

## II. RESUMEN

La presente monografía busca obtener información técnica necesaria para elaborar la investigación influencia de la soda caustica en la estabilización de suelos en la zona de Huanchaco – Trujillo. Este trabajo de investigación busca encontrar la teoría que nos proporcione una nueva solución al uso de la soda caustica mejorando las propiedades físicas y mecánicas del suelo. La soda caustica es un hidróxido cáustico usado en la industria (principalmente como una base química) tiene un elevado PH por lo que es apto para estabilizar el suelo.

La obtención en el proceso de búsqueda de información se realizó tomando en cuenta el Reglamento Nacional de Edificaciones en especial la Norma E-050, se recolectaron datos, utilizando matriz de datos, aplicando fuentes de información primaria, que resulta de suma importancia en la búsqueda del conocimiento necesario para llevar a cabo la investigación en dicho lugar.

Con la teoría necesaria se requiere determinar la influencia de la soda caustica en la estabilización de suelos de dicha zona, la cual se logrará mediante ensayos en laboratorio bajo las normas de la AASHTO y SUCS, este proyecto de investigación es importante ya que beneficia de manera tecnológica a la sociedad y al país.

### **PALABRAS CLAVES**

- Soda caustica
- Estabilización de suelos
- Propiedades físicas del suelo
- Propiedades mecánicas del suelo

### III. ABSTRAC

This monograph seeks to obtain technical information necessary to develop the research influence of caustic soda in the stabilization of soils in the Huanchaco - Trujillo area. This research work seeks to find the theory that will provide us with a new solution to the use of caustic soda, improving the physical and mechanical properties of the soil. Caustic soda is a caustic hydroxide used in the industry (mainly as a chemical base) has a high PH so it is suitable to stabilize the soil.

The obtaining in the information search process was done taking into account the National Building Regulations especially the E-050 Standard, data were collected, using data matrix, applying primary information sources, which is very important in the search of the knowledge necessary to carry out the research in said place.

With the necessary theory it is necessary to determine the influence of caustic soda in the stabilization of soils of this area, which will be achieved through laboratory tests under the standards of AASHTO and SUCS, this research project is important as it benefits in a technology to society and the country.

#### KEYWORDS

- Caustic soda
- Soil stabilization
- Physical properties of the soil
- Mechanical properties of the soil

## I. INTRODUCCION

La presente investigación tiene como finalidad encontrar toda la teoría necesaria para determinar la influencia de la soda caustica en la estabilización del suelo. Mejorar las propiedades físico-mecánicas como la resistencia del suelo dando como resultado un suelo apto para edificar. Esta nueva técnica de estabilizar con soda caustica es muy positivo para las nuevas tecnologías.

Por consiguiente, el adicionar soda caustica al suelo se mejorará el comportamiento del suelo para posibles asentamientos, evitando así daños de alto grado como devastado. Ya que en el Perú cuenta con muchos suelos de baja resistencia, estaríamos aportando calidad para nuestra resistencia de suelos.

Además, se incentivará no solo para estabilización de suelos sino también en el uso de inyectables de los suelos que son otras formas de regenerar pavimentos ya existentes por lo que este material es muy diverso para diferentes investigaciones.

De no hacer esta investigación, no existiría un aporte de como influiría la soda caustica para la estabilización de suelos ni tampoco un aporte para la industria de carreteras o estabilizaciones de estas, además de su aporte al cuidado medio ambiental.

Además, también se investigará si la soda caustica tiene algún impacto negativo u otra desventaja sobre el suelo, en el ambiente, en lo económico y en lo toxico por lo que no solo se verá lo positivo o los beneficios que esta investigación dará sino también las desventajas o maleficios que esto nos dará.

### 1.1. Delimitación del problema que motiva el estado del arte

El análisis de las bases teóricas de la investigación, influencia de la soda caustica en la estabilización de suelos en la zona de Huanchaco – Trujillo, en este trabajo de investigación se busca estudiar la influencia de la soda en la estabilización de suelos es decir mejorar sus propiedades físicas y mecánicas, a manera de estabilización. La estabilización de suelos es uno de los métodos

más eficientes para aumentar las propiedades, evidenciado en los ensayos de corte directo, Límites de Atterberg, Granulometría, Porcentaje de Humedad, etc. Habiendo diferentes tipos de estabilización como la estabilización química, física y mecánicas. En su mayoría normadas por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones y Normas como la E050 del Reglamento Nacional de Edificaciones.

Se usará la soda caustica como un aditivo y se verificará si hay algún impacto negativo u otra desventaja sobre el suelo, en el ambiente, en lo económico y en lo toxico.

De obviar las investigaciones dirigidas a mejorar los suelos, no se encontrarían alternativas de solución a las deficiencias de calidad de suelo como material portante; las cimentaciones llevarían mayores requerimientos de profundidad; las construcciones estarían propensas a tener fallas por licuefacción de suelos o asentamientos diferenciales. Fallas de por sí muy peligrosas que podrían causar el colapso total de la edificación y la perdida de bienes económicos y humanos.

Optar por otros métodos de estabilización se traduce en mayores costos económicos y estudios más específicos, que bien podrían realizarse a futuro si es que resultaran más eficientes.

### **1.1.1. Campo Temático**

- Geotecnia.

### **1.1.2. Espacio**

Distrito : Huanchaco  
Provincia : Trujillo.  
Región : La Libertad

### **1.1.3. Tiempo**

Diciembre 2018 a enero del 2019

---

## 1.2. FORMULACION DEL PROBLEMA

¿Cuál son las bases teóricas que permitirán realiza influencia de la soda caustica en la estabilización de suelos en la zona de huanchaco – Trujillo, 2019?

### 1.3. Justificación del Tema

#### 1.3.1. Realidad Problemática

En nuestra provincia de Trujillo existen zonas donde la resistencia del terreno no es buena como es el caso del distrito Huanchaco, en estas situaciones donde la población se va expandiendo de forma no planificada construyen sus edificaciones sobre estos suelos deficientes corriendo un gran peligro al habitar en estas zonas ya que las estructuras pueden asentarse y ceder provocando un deslizamiento. Otro problema son los asentamientos de pavimentos existentes en estas zonas ya mencionadas como pueden ser en otros lugares por una deficiente construcción de estas.

(CEDEÑO PLAZA DAVID, 2013) demostró que se puede estabilizar este tipo de materiales finos deficientes con enzimas orgánicas, cemento y emulsión asfáltica y los porcentajes de estabilización óptimos que cumplen con la estabilización propuesta son los siguientes:

- Para la sub-rasante estabilizada con enzima orgánica la dosificación óptima es de 1lt para 30m<sup>3</sup>
- Para la sub-rasante estabilizada con cemento, el porcentaje óptimo con relación al peso es de 9%
- Para la sub-rasante estabilizada con emulsión asfáltica CSS – 1h, el porcentaje optimo con relación al peso es de 8%.

(CARLOS ALBERTO GUTIÉRREZ MONTES, 2010) Se comprobó el aumento de la máxima densidad seca conforme se le iba aumentando el porcentaje de aditivo (3%, 4% y 5%) en la estabilización de la carretera no pavimentada y no se pudo



comprobar el aumento del C.B.R. en el ensayo de laboratorio puesto que la inmersión de 48 horas no dejaba actuar al Cloruro de Magnesio.

(ROSA LLIQUE MONDRAGON, 2014), Encontró que con la adición de cal de 0%, 2%, 4% y 6% el comportamiento del límite líquido disminuye, teniendo su máxima disminución la muestra con cal al 4% con un 57.15. La muestra con cal al 0% tiene un límite líquido de 67.57 y El límite plástico aumenta de acuerdo a la adición de cal logrando su máximo límite plástico de 47.60 con cal al 4%, el límite plástico menor es de 30.70 con cal al 0%.

(DE LA CRUZ GUTIERREZ, Lizeth y SALCEDO ROJAS, Kaite, 2016), Se encontró que la adición del aditivo Eco Road 2000 al suelo natural se observaron notables cambios en la parte física y mecánica esto es debido a que el aditivo acelera el proceso de expansión y contracción para poder obtener un suelo más estable y las calicatas que reaccionaron mejor al aditivo fueron C-4, C-5, C-7, C-8, C10 debido al porcentaje de finos que contiene cada uno (71.30%, 73.50%, 74.00%, 81.60%, 74.80%) en conclusión un suelo con mayor cantidad de finos reaccionaría mejor al aditivo Eco Road 2000, esto demuestra que no todos los suelos cohesivos reaccionan de la misma forma.

(ROCÍO DEL CARMEN PÉREZ, 2012), encontró que las cenizas volantes funcionan como aditivo inhibidor de las propiedades expansivas del material, pero este requiere ser adicionado en porcentajes excesivos, al menos en el caso de una arcilla expansiva, en promedio mayor a 20%.

(ABEL DARWIN VELARDE DEL CASTILLO, 2015), Encontró que si es posible implementar la metodología de superficie de respuesta (MSR) en la estabilización de suelos arcillosos con cal y cemento pues se lograron obtener resistencias que superan ampliamente a la de los suelos no estabilizados.

---

Las Propiedades físicas y mecánicas son los patrones más importantes que definen a la unidad de la estabilización de los suelos, ya que al intentar mejorar estas, se obtendrán más tecnologías en la creación de nuevos recursos para la estabilización, además de mejorar la calidad de los suelos, mejorar el desarrollo social, económico, disminuir el impacto ambiental y sobre todo evitar daños ocasionados por asentamientos.

### **1.3.2. Aspectos diferenciados de justificación**

- El suelo generalmente en la zona de Huanchaco genera muchos problemas por lo que no tienen la suficiente resistencia y ocasiona asentamientos en viviendas y/o deslizamientos, porque no se obtiene conocimiento y no se asesoran con profesionales que ante todo se estudia el suelo. Lo que se quiere hacer con esta investigación es disminuir el riesgo de asentamientos en las viviendas y dándole también un valor agregado a las nuevas técnicas para estabilizar los suelos utilizando otros materiales como es la soda caustica.
- La búsqueda de información general, permitirá establecer un estudio para poder determinar la influencia de la soda caustica al suelo que nos permitan mejorar sus propiedades físicas como mecánicas esto significa estabilizarlo para así poder construir edificaciones más altas y permitir el crecimiento vertical del distrito.
- Asimismo, las bases teóricas, buscan apertura a nuevas soluciones al problema de baja capacidad portante de la zona buscando cómo mejorar ese suelo.
- Los alcances de referencias técnicas permitirán realizar un análisis que incidan en aspectos concluyentes en la recopilación de información, cómo la optimización, relación y secuencias de la información obtenida.

- 
- Desde la perspectiva de otorgar soluciones basadas en la obtención de información valorativa, se pretende demostrar que la búsqueda de información geotécnica corresponde al sustento que generan soluciones técnicas y normativas.

## **1.4. OBJETIVOS**

### **1.4.1. OBJETIVO GENERAL**

Redactar bases teóricas para realizar la investigación influencia de la soda caustica en la estabilización de suelos en la zona de Huanchaco – Trujillo

### **1.4.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Definir información sobre tipos, usos de la soda caustica.
- Revisar la teoría acerca de las propiedades mecánicas y físicas de los suelos
- Identificar la teoría acerca de la estabilización de suelos.

## **1.5. PROCEDIMIENTOS METODOLIGOS SEGUIDOS**

### **1.5.1. Técnica de recolección**

- Revisión documental y análisis al contenido de la búsqueda de información, clasificación y selección de información de Bases Teóricas, con la consiguiente toma de lectura de las condiciones, procesos y consecuencias observables, servirán de aporte importante a una solución al problema detectado.
- La técnica empleada para la recolección de datos es la revisión documental que nos permitirá recolectar la información necesaria para realizar dicha investigación.

### 1.5.2. Instrumentos de recolección

>El instrumento de recolección de datos usado es la matriz de datos que representa el modo y forma que utiliza el investigador para recolectar la información adecuada para su tema, utilizando:

- Ver Anexo 01°, Anexo N° 02.

### 1.5.3. Fuentes de Información

Corresponde a los instrumentos diferenciados para la toma de conocimientos, búsqueda y acceso a información necesaria.

- **Fuente de datos primaria:**
  - Norma E.050 Suelos y Cimentaciones.
  - Investigaciones de artículos científicos en revistas indexadas acerca de las estabilizaciones de suelos.
  - Tesis acerca del uso de aditivos para la estabilización de los suelos.

## II. RESULTADOS RESPECTO A LOS ANTECEDENTES ESTADO DEL ARTE O ESTADO DE LA CUESTION

### 2.1 ANTECEDENTES

2.1.1. Estabilización de suelos de alta plasticidad usando cemento portland en el Departamento de Lambayeque”.

(Segura, 2015), Esta tesis se enfoca en el estudio del cemento como agente estabilizador, con adiciones de diferentes proporciones del 7%,10%,13%,16%, 19% y 22%, para así establecer diferentes resistencias y poder compararlas con la del suelo natural.

Para la realización de la investigación, primero se tuvo que determinar zonas de suelos de alta plasticidad mediante ensayos de límites de consistencia, con

el fin de obtener suelos de alta plasticidad, luego mediante según lo estipulado en el Manual para el diseño de carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito, se estableció los diferentes porcentajes de adición de cemento.

Posteriormente se realizó lo especificado en las normas MTC-E 1103 – 2000 “Resistencia a la compresión de probetas de Suelo-Cemento” para la realización de las probetas de suelo cemento, su posterior rotura y obtención de su capacidad de carga en kg/cm<sup>2</sup>.

En conclusión, el estudio nos permitirá establecer rangos adecuados de cemento para poder mejorar las características del material natural.

Este estudio aportará un análisis adicional ya que utilizó una relación directa de diferentes porcentajes de adición de cemento para encontrar la estabilización óptima del suelo, servirá de base para utilizar una relación directa de los porcentajes de soda caustica con el suelo para mi investigación.

2.1.2. “Estabilización de suelos con el uso de emulsiones asfálticas catiónicas de rotura lenta. caso de estudio vía las mercedes – puerto nuevo, provincia de santo domingo de los tsachilas”.

(Almeida & Sanchez, 2011), En la presente investigación se aplica Emulsiones Asfálticas Catiónicas de Rotura Lenta CSS-1h, en la estabilización de suelos de tipo: Limo Elásticos Arenosos (MH), Arenas Limosas (SM) y Limo Arenosos (ML) de Sub-rasante.

Se realizan ensayos de Capacidad de Soporte del Suelo (CBR) al suelo natural y al suelo con diferentes porcentajes de emulsión asfáltica, resultados que permiten caracterizar la mezcla suelo-emulsión, llegándose a obtener resultados no favorables en los mismos.

Este estudio aportara un análisis adicional ya que realizan ensayos de capacidad de soporte del suelo que es el CBR, esto servirá de base para un mejor entendimiento de lo que se realizara también en el comportamiento del suelo con la soda caustica.

### 2.1.3. “Estabilización de suelos cohesivos por medio de arenas volcánicas y cal viva”

(López, 2012), Evalúa el comportamiento de las arenas de origen volcánico en la estabilización de suelos cohesivos, estas arenas son muy comunes en diferentes áreas de la construcción y existen en gran cantidad dentro del departamento de Guatemala como en otras áreas del país. Los materiales de origen volcánico son muy fáciles de encontrar en Guatemala, la mayoría de su territorio tiene influencia en sus suelos procedentes por eventos y actividad volcánica.

Se analizó anteriormente todas las estabilizaciones realizadas a los dos tipos de suelos cohesivos las cuales fueron positivas, cada una de las estabilizaciones presentó un CBR diferente.

Las características de las de arenas de origen volcánico usadas en la investigación presentan cualidades positivas para la estabilización de suelos cohesivos, las minas ya se usan de forma exitosa en la construcción para diferentes áreas como fundición de concretos y la fabricación de tejas de concreto prefabricadas.

Este estudio aportara un análisis adicional ya que realizan ensayos de capacidad de soporte del suelo que es el CBR, esto servirá de base para un mejor entendimiento de lo que se realizara también en el comportamiento del suelo con la soda caustica.

### 2.1.4. “Elección y dosificación del conglomerante en estabilización de suelos”.

(Núñez, 2011), La presente investigación se basó en determinar un método óptimo y sencillo de alcanzar la estabilización; se inició por determinar los límites de Atterberg y con ello se obtuvo el IP de 18.425, el cual indica que tenemos un suelo de alta plasticidad. Según las investigaciones hechas, es posible determinar el tipo de conglomerante por medio del IP. Cuando se obtiene un IP menor a 10, es un suelo no plástico y el conglomerado más adecuado es el cemento. En nuestro caso al ser mayor a 10, el suelo se

estabilizará con cal. Para determinar la dosificación de cal que necesita, se realizó la prueba de Eades y Grim la cual indica que el porcentaje óptimo será el más cercano y superior a 12.4, por lo tanto, se obtuvo que con un porcentaje de 1% el suelo alcanzó su estabilización óptima.

Este estudio aportará un análisis adicional ya que utilizó diferentes porcentajes de conglomerantes para encontrar la estabilización óptima, servirá de base para utilizar los porcentajes de soda caústica con el suelo para mi investigación.

#### 2.1.5. “Investigación de la estabilización de suelos con enzima aplicado a la sub-rasante de la avenida Quitumbe - Ñan, Cantón Quito”

(Cedeño, 2013), La presente investigación demostró las ventajas que se obtienen al estabilizar un suelo cuyas propiedades físicas y mecánicas son deficientes. Estos suelos son típicos y se los encuentra con mucha frecuencia en distintas partes del país, creando muchas expectativas dentro de la ingeniería ya que son la base primordial en el uso para sub-rasantes de una estructura de pavimentos.

Por lo expuesto, se analizaron las propiedades físicas y mecánicas de un grupo de suelo y luego se conformó una mezcla con los diferentes agentes estabilizantes normados y disponibles en la zona o área de influencia. Realizando los ensayos de laboratorio determinamos los datos de partida para posteriormente comparar con los resultados obtenidos de la mezcla estabilizada. La determinación de las proporciones óptimas de los estabilizantes fue el producto de varios ensayos, cuyos análisis y resultados permitieron obtener las cantidades correctas para cada caso.

Se demostró que se puede estabilizar este tipo de materiales finos deficientes con enzimas orgánicas, cemento y emulsión asfáltica.

Este estudio aportará un análisis adicional ya que se estableció una relación entre las propiedades mecánicas y la adición de enzimas, esto servirá de base para describir mejor el comportamiento de una propiedad mecánica importante como la es la resistencia del suelo ante la adición de la soda caústica.

2.1.6. “Estabilización de suelos arcillosos con cenizas de carbón para su uso como subrasante mejorada y/o subbase de pavimentos”

(Del Carmen, 2011) Esta investigación, estudia el efecto que produce la adición de cenizas volantes de carbón en un suelo arcilloso, con el fin de evaluar en sus obras de pavimentación. La ceniza volante es un residuo que proviene de la planta termoeléctrica ubicada en Ilo, Moquegua. La disposición de éste, genera un problema ambiental. Se realizaron ensayos de laboratorio para caracterizar la ceniza volante, las mezclas suelo-ceniza volante y suelo – ceniza volante – cemento para evaluar su comportamiento geotécnico. Se comprueba que la mezcla de ceniza volante con el suelo arcilloso en estudio, como también la adición de cemento, presenta un mejor comportamiento que el suelo puro para su empleo como capa de sub-base y sub-rasante mejorada de pavimentos.

Se examinó factores como; tiempo de curado, tiempo de compactación, contenido de agua y otros factores que influyen en el comportamiento de la mezcla final. Los diseños de estructuras típicas de pavimento rural, tanto con un suelo natural arcilloso y con suelo estabilizado, se relacionaron mediante el método NAASRA (National Association of Australian State Road Authorities).

La investigación concluye que existe viabilidad técnica y económica para la construcción de pavimentos empleando cenizas volantes de carbón como material estabilizador de suelos.

Este estudio aporta un análisis adicional en la relación de la adición de la ceniza volante con las propiedades mecánicas del suelo y así tener de base para nuestra relación de la soda caustica con el suelo que se va a estudiar en esta presente investigación.



## 2.2 BASES TEORICAS

### 2.2.1. SODA CAUSTICA

Definición de la soda caustica:

El hidróxido de sodio (NaOH), hidróxido sódico o hidrato de sodio, también conocido como soda cáustica o sosa cáustica, es un hidróxido cáustico usado en la industria (principalmente como una base química) en la fabricación de papel, tejidos, y detergentes. Además, se utiliza en la industria petrolera en la elaboración de lodos de perforación base agua. A nivel doméstico, son reconocidas sus utilidades para desbloquear tuberías de desagües de cocinas y baños, entre otros (MENESES, 2014).



Figura 1: soda caustica

Fuente: [www.clasf.co.ve/q/kilos-soda-caustica/](http://www.clasf.co.ve/q/kilos-soda-caustica/)

Características de la Soda caustica:

La sosa cáustica suele ser agresiva con la piel, por lo tanto, tiende a corroerla.

Se disuelve muy bien en el agua liberando una gran cantidad de calor.

Generalmente se utiliza en forma sólida o en solución.

Cuando se disuelve en agua o se neutraliza con un ácido libera una gran cantidad de calor que puede ser suficiente como para encender materiales combustibles.

Generalmente se usa en forma sólida o como una solución de 50%. (MENESES, 2014).



Figura 2: soda caustica

Fuente: Shijiazhuang Tilin Technology Co.

Tipos de Soda caustica:

La soda cáustica puede clasificarse en:

Soda cáustica líquida



Figura 3: soda caustica liquida

Fuente: distribuidora jiron

Soda cáustica granulada



Figura 4: soda caustica granulada

Fuente: sosacaustica.com

Soda cáustica sólida



Figura 5: soda caustica solida

Fuente: alibaba.com

Soda cáustica en escamas

Soda cáustica en hojuelas

Soda cáustica en trozos

Soda cáustica en granos

Soda cáustica en barra

Soda cáustica cristalina

Cuando se expone a temperatura ambiente, la sosa cáustica se encuentra como solido blanco e inodoro, posee la cualidad de absorber la humedad del aire, lo cual la hace soluble en agua y etanol. Es insoluble en éter y al disolverse en agua o en algún ácido esta desprende calor suficientemente fuerte como para encender materiales combustibles.

Tanto en su presentación sólida como líquida, la sosa cáustica presenta la misma composición química. En su presentación granulada esta posee una mayor superficie de contacto, esto se debe al pequeño tamaño de partícula que posee, haciéndola más fácil de disolver.

Como también es posible conseguir la sosa cáustica líquida al se debe asegurar que se encuentre cristalina, si no está así y tiene turbiedad es que ha absorbido CO<sub>2</sub> y ha formado carbonato de sodio (www.quimica.net., 2012)

Usos y aplicaciones de la soda cáustica

El hidróxido de sodio se usa para fabricar jabones, crayón, papel, explosivos, pinturas y productos de petróleo. También se usa en el procesamiento de textiles de algodón, lavandería y blanqueado, revestimiento de óxidos, galvanoplastia y extracción electrolítica, por lo que su alto índice de PH indica que es útil para estabilización de suelos.

Para la estabilización de suelos se utiliza ya que estabilizaba adecuadamente los suelos de tipo laterítico a los cuales hace fácilmente compactables (MENESES, 2014).

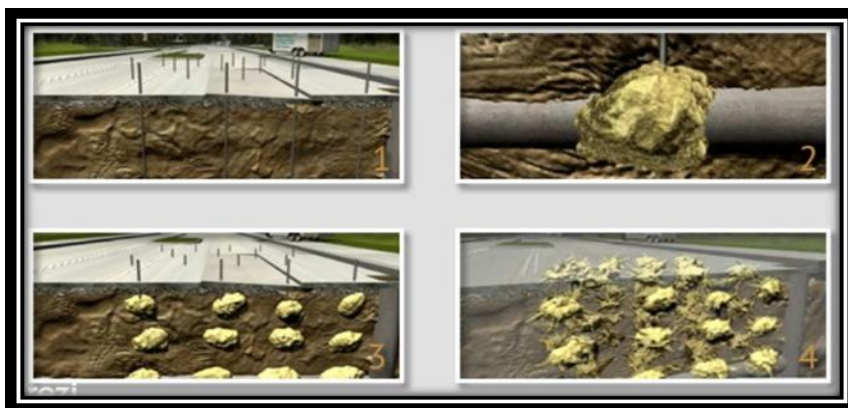


Figura 6: inyección de soda caustica

Fuente: Liliana Andrea Meneses

## 2.2.2. SUELOS

### 2.2.2.1. Clasificación de suelos

#### Tamaño de grano

Se distinguen tres tamaños principales: grava, arena y finos (limo y arcilla). Los bloques de roca (tamaño superior a los 75 milímetros) encontrado dentro de la muestra de suelo, se excluyen de la porción, pero se registra la cantidad presente.

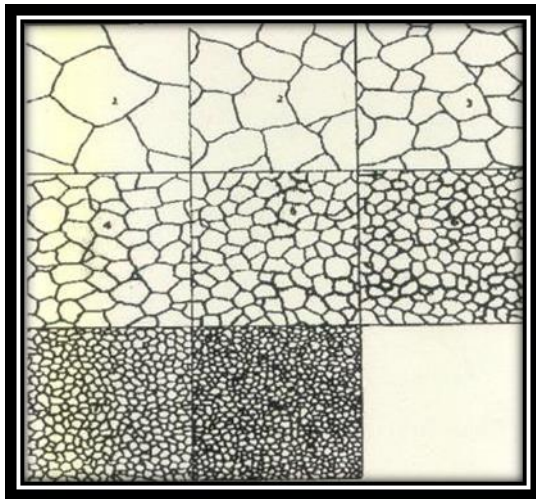


Figura 7: medida del tamaño de grano

Fuente:

[www.uam.es/docencia/labvformat/labvformat/practicas/practica4/grano.htm](http://www.uam.es/docencia/labvformat/labvformat/practicas/practica4/grano.htm)

Plasticidad

De plasticidad es inferior o igual a 10, término arcilloso a las fracciones con plasticidad superior o igual a 11.



Figura 8: plasticidad del suelo

Fuente: <http://viaproces.blogspot.pe/2013/04/perfil-de-suelo-en-una-zona-mazahua.html>

#### Índice de grupo (IG)

El índice de grupo incluyendo el grupo de clasificación, se usa para determinar la calidad relativa de suelos de terraplenes, material de subrasante, subbases y bases.

El índice de grupo se determina a través de la evolución en cada grupo, mediante el cálculo de la fórmula empírica.

$$IG = (F_{200} - 35) [0,2 + 0,005(LL - 40)] + 0,01(F_{200} - 15)(IP - 10)$$

Donde:

F 200 = porcentaje que pasa la malla No. 200 expresado como un número entero.

LL = límite líquido.

IP = índice de plasticidad.

Si el porcentaje que pasa por la malla No. 200, menos 35, es mayor de 75, se anotará 75 y si es menor de 35, se anotará cero. Si el porcentaje de material que pasa por la malla No. 200, menos 15, es mayor de 55, si es menor de 15, se anotará cero.

Valor del límite líquido, menos 40, si el LL es mayor de 60 se anotará 60 y si es menor de 40 se anotará cero. Valor del índice de plasticidad, menos 10, si el IP es mayor de 30, se anotará 30 y si es menor de 10 se anotará cero. Al calcular el índice de grupo para un suelo de los grupos A-2-6 o A-2-7, se debe de usar la ecuación de índice de grupo parcial relativa al índice de plasticidad:

$$IG = 0,01(F_{200}-15) (IP-10)$$

Cuando el suelo es NP o cuando el límite líquido no puede ser determinado, el índice de grupo se debe considerar cero. Si un suelo es altamente orgánico (turba) puede ser clasificado A-8 sólo con una inspección. visual generalmente, es de color oscuro, fibroso y olor putrefacto.

Algunas reglas con respecto al uso de estas ecuaciones, son las siguientes:

Si el valor obtenido es negativo, se debe asumir como  $IG=0$

No hay un límite superior para el índice de grupo

El IG debe redondearse a valores enteros (ROANO, 2012)

#### Principales tipos de suelos

De acuerdo con el origen de sus elementos, los suelos se dividen en dos amplios grupos; suelos cuyo origen se debe a la descomposición física o química de las rocas, o sea de los suelos inorgánicos y los suelos cuyo origen es principalmente orgánico.

Si en los suelos inorgánicos el producto del intemperismo de las rocas permanece en el sitio donde se formó da origen a un suelo residual; en caso contrario, forma un suelo transportado, cualquiera que haya sido el agente transportador (por gravedad: talud; por agua: aluviales o lacustres; por viento: eólicos; por glaciares; depósito glaciario).

En cuanto a los suelos orgánicos, ellos se forman casi siempre en situaciones que, en muchas veces la cantidad de materia orgánica, ya sea en forma de



humus o de materia no descompuesta o en estado de descomposición, es tan alta con deriva de la porción mineral quedan eliminadas.

Esto es muy común en las zonas pantanosas en las cuales los restos de vegetación acuática llega a formar verdaderos depósitos de gran espesor, conocidos con el nombre genérico de turbas, las cuales se caracterizan por su color negro o café oscuro por su poco peso cuando están secos y su gran compresibilidad. La turba es el primer paso de la conversión de la materia vegetal en carbón. (RUANO LÓPEZ, 2012)



Figura 9: tipos de suelo

Fuente: <http://miprofegrace.blogspot.pe/2015/11/tipos-de-suelo.html>

Propiedades y características físicas de los suelos cohesivos

Las propiedades y características físicas de los suelos cohesivos, son aquellas que determinan los componentes internos de la estructura de cada suelo y los cuales se ven reflejados en la apariencia de cada uno. (RUANO LÓPEZ, 2012)

Factores intervinientes en el proceso de erosión hídrica en suelos cohesivos



Los efectos y las propiedades de los factores físicos fundamentales de los suelos cohesivos, que influyen en la resistencia de los mismos a la erosión son las siguientes:

Peso específico.

Porosidad (volumen de poros por unidad de volumen de suelo).

Humedad (cantidad de agua contenida en los poros).

Plasticidad (capacidad de variar la forma sin conformarse fisuras, conservando aquellas luego de quitada la carga y sus límites).

Cohesión (existencia de fuerzas intermoleculares que interfieren la ruptura del conjunto).

Ángulo de fricción interna.

Hinchamiento (capacidad de disminuir la cohesión en el supuesto de saturación del suelo hasta destruir su reestructura).

Heterogeneidad (existencia de capas intermedias finas de suelo, con otras cualidades, incrustaciones, etc.).

Integridad (modificación de la estructura en su estado natural).

En la acción hidrodinámica del flujo sobre lechos cohesivos influyen:

Magnitud de las velocidades de las corrientes medias o de fondo.

Nivel de pulsación de la velocidad.

Profundidad del flujo.

Contenidos de mezclas en el flujo (sedimentos en suspensión, sustancias químicas, etc.). (RUANO LÓPEZ, 2012)

Propiedades de los suelos cohesivos

Las propiedades de los suelos cohesivos son las que se examinan en forma sintética y precisa, estas propiedades del suelo y flujo son datos que se necesitan para iniciar una evaluación de sus características.

Peso específico (densidad):

Cuanto más denso es un suelo tanto más sólido es el mismo, pero existen arcillas densas con hinchamiento las cuales para el estado de saturación pierden la solidez y su resistencia a la erosión. El peso específico de los suelos

cohesivos fluctúa comúnmente entre pequeños límites de 2,60 a 2,75 gramos por centímetro cúbico; por lo tanto, no influyen en la erosión.

#### Porosidades y humedad

En estado natural conservan el equilibrio establecido de las fuerzas internas cuando menos es la porosidad, para igual cohesión, tanto mejor resiste el suelo a la erosión. Con la variedad de la humedad se modifican la resistencia a la erosión y la plasticidad. Con el aumento de la saturación, un suelo cohesivo puede pasar del estado sólido al fluido. Se diferencia el límite de plasticidad superior cuando al rolar la muestra no se conforma fisura, conservando la arcilla cualquier forma; el límite de plasticidad inferior, cuando disminuyen bruscamente las fuerzas de cohesión, apareciendo la fluidez.

En arcillas muy plásticas (con un alto número de plasticidad mayor a 0,15) existe una gran resistencia a la erosión (hasta un 30 por ciento) y una gran resistencia elasto-plástica a la fatiga (resistencia a las cargas pulsatorias). (RUANO LÓPEZ, 2012)

#### Cohesión

Es la atracción entre partículas, originada por las fuerzas moleculares y las películas de agua. Por lo tanto, la cohesión de un suelo variará si cambia su contenido de humedad. La cohesión se mide en kilogramo sobre centímetro cuadrado. Los suelos arcillosos tienen cohesión alta de 0,25 kilogramo sobre centímetro cuadrado a 1,5 kilogramo sobre centímetro cuadrado, o más.

Los suelos limosos tienen muy poca, y en las arenas la cohesión es prácticamente nula por eso se dice que las arenas no son suelos cohesivos y se pueden identificar muy fácilmente solo apreciando su textura. (RUANO LÓPEZ, 2012)

#### Propiedades de limos y arcillas

Las propiedades de limos y arcillas, son características que poseen estos suelos, los cuales se pueden determinar observando las muestras de suelos y realizando ensayos para evaluar así su comportamiento.

Resistencia en estado seco: para saber la resistencia de un bloque o terrón de suelo se toma un espécimen seco del suelo y se golpea con un martillo.

En la arcilla la resistencia seca es alta y en el limo la resistencia seca es baja.

Dilatancia: el fenómeno de dilatancia en los materiales granulares responde a un aumento de volumen del material al aplicarle una deformación de corte, se puede determinar colocando una porción de suelo muy húmeda en la palma de la mano que al golpearla con la otra mano por debajo, hace que el agua del suelo aflore y luego pueda desaparecer, ocurriendo rápido en limos o lentamente en arcillas.

Tenacidad: mide la plasticidad del suelo y se evalúa formando rollitos de 1/8 pulgadas o (3 milímetros). Si con suelos húmedos los rollitos así no se agrietan ni desintegran, tenemos arcillas, si lo hacen son limos.

Sedimentación o dispersión: se disgrega el suelo triturándolo para separar los granos; se hace una suspensión en agua y en recipiente de vidrio se mezcla y homogeneiza la mezcla, luego se deja reposar: así, la arena se deposita en segundos, el limo en minutos y pocas horas, y la arcilla en varias horas e incluso días, quedando turbia el agua.

Brillo: se frota el suelo húmedo en su superficie con una navaja. La superficie brillante indica arcilla y la superficie color mate, limo. (RUANO LÓPEZ, 2012)

## **B. PROPIEDADES MECANICAS DE LOS SUELOS.**

Son propiedades físicas que describen el comportamiento de un material sólido a aplicarle fuerzas de tracción, compresión y torsión. El suelo tiene un conjunto sorprendentemente diverso de propiedades mecánicas. El estudio empírico y teórico de la mecánica de los suelos ha progresado hasta el punto donde los ingenieros del suelo son capaces de considerar una amplia variedad de propiedades mecánicas cuando el diseño de estructuras involucra grandes cantidades de tierra. La mecánica de los suelos tiene aplicaciones en todo, desde grandes proyectos de ingeniería civil hasta el paisajismo del patio trasero. (Geniolandia, 2018)

### **B.1.1 RESISTENCIA AL CORTE**

La resistencia al corte se refiere al nivel de fuerzas cortantes que un material puede resistir sin fracturarse. La resistencia al corte se mide en Newton por metro cuadrado. Las fuerzas cortantes son fuerzas que se aplican tangencialmente a lo largo de una cara de la tierra. La resistencia al corte es difícil de medir ya que depende de una amplia variedad de factores, incluyendo la naturaleza del suelo, la historia de la muestra de suelo particular que es medida, y la velocidad a la que las fuerzas de corte se aplican. (Geniolandia, 2018)

### **B.1.2 PRESIÓN LATERAL DEL SUELO**

La presión lateral del suelo es la presión que ejerce la tierra horizontalmente. Si tienes una masa cúbica de tierra en un recipiente cúbico, entonces la presión lateral del suelo es la presión ejercida sobre las paredes del recipiente. El empuje lateral se mide en Pascales o Newton por metro cuadrado. (Geniolandia, 2018)

### **B.1.3 CONSOLIDACIÓN**

La consolidación es el proceso mediante el cual el volumen del suelo disminuye bajo la aplicación de una carga. La consolidación es causada por las cargas que se aplican al suelo y los granos de suelo que son empacados juntos más estrechamente como resultado. (Geniolandia, 2018)

### **B.1.4 CAPACIDAD DE CARGA**

La capacidad de carga es la capacidad de la tierra en torno a una estructura para soportar las cargas aplicadas. La capacidad de carga se mide en Pascales o Newton por metro cuadrado. (Geniolandia, 2018)

### **B.1.5 PERMEABILIDAD Y FILTRACIÓN**

La permeabilidad se refiere a la facilidad con la cual el fluido puede fluir a través de los poros en el suelo. La permeabilidad se mide en metros cuadrados

o Darcy. La filtración se refiere a la tasa a la cual el fluido se mueve a través de una masa de tierra. La filtración se mide en metros por segundo. (Geniolandia, 2018)

### **B.1.6 ESTABILIDAD DE TALUDES**

La estabilidad de taludes se refiere a la resistencia de una pendiente de fallo o colapso. La estabilidad de una pendiente abarca una amplia gama de consideraciones y no tiene una sola unidad universal de medición. (Geniolandia, 2018)

## **B.2 FACTORES QUE AFECTAN EN LAS PROPIEDADES MECANICAS**

### **B.2.1 ANGULO DE FRICCIÓN INTERNA**

La fricción interna es la resistencia al deslizamiento causado por la fricción que hay entre las superficies de contacto de las partículas y de su densidad. Como los suelos granulares tienen superficies de contacto mayores y sus partículas, especialmente si son angulares, presentan una buena trabazón, tendrán fricciones internas altas. En cambio, los suelos finos las tendrán bajas.

La fricción interna de un suelo, está definida por el ángulo cuya tangente es la relación entre la fuerza que resiste el deslizamiento, a lo largo de un plano, y la fuerza normal "p" aplicada a dicho plano. Los valores de este ángulo llamada "ángulo de fricción interna"  $f$ , varían de prácticamente  $0^\circ$  para arcillas plásticas, cuya consistencia este próxima a su límite líquido, hasta  $45^\circ$  o más, para gravas y arenas secas, compactas y de partículas angulares. Generalmente, el ángulo  $f$  para arenas es alrededor de  $30^\circ$ . (Apuntes de ingeniería civil, 2017)

### **B.2.2 COEFICIENTE DE COHESIÓN**

Es la atracción entre partículas, originada por las fuerzas moleculares y las películas de agua. Por lo tanto, la cohesión de un suelo variará si cambia su contenido de humedad. La cohesión se mide  $\text{kg/cm}^2$ . Los suelos arcillosos tienen cohesión alta de  $0,25 \text{ kg/cm}^2$  a  $1.5 \text{ kg/cm}^2$ , o más. Los suelos limosos tienen muy poca, y en las arenas la cohesión es prácticamente nula. (Juan Perez

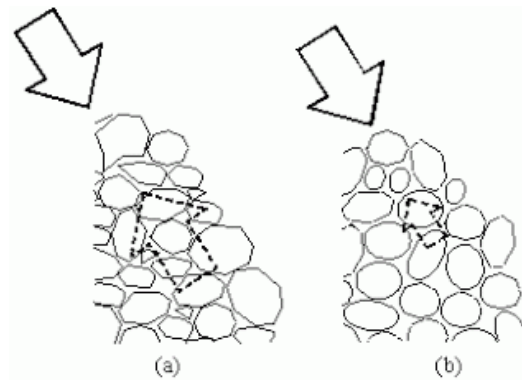


Fig. 1. Estructuras que dan cohesión a los suelos granulares.

Partículas con textura angular. (b) Partículas con textura redondeada.

Para el caso de suelos compuestos de partículas con forma granular, la trabazón entre partículas origina estructuras granulares simples y la fricción que se origina entre ellas contrarresta el deslizamiento de unas respecto a otras, como se muestra en la Fig. 1a este comportamiento se lo identifica como la cohesión para el caso de suelos granulares, donde el suelo presenta resistencia contra su disgregación ocasionada por un agente externo. El grado de cohesión que presentan los suelos granulares, está en función a la textura de las partículas de forma granular. Las partículas con textura angular (Fig. 1a) logran que el suelo tenga cohesión, mientras que las partículas con textura redondeada (Figura 1. b) no contribuyen a la cohesión del suelo. (Juan Perez Valcarcel, sf)

### B.2.3 PESO ESPECÍFICO

Se entiende como la relación entre el peso y su volumen, es un valor dependiente de la humedad, de los huecos de aire y del peso específico de las partículas sólidas. Para evitar confusiones, las determinaciones de los ensayos de laboratorio facilitan por un lado el “**peso específico seco**” y por otro la humedad. Fijémonos que este término es diferente de la “**densidad del suelo**”, que establece una relación entre la masa y el volumen. También suele utilizarse un valor adimensional denominado, “**peso específico relativo**”,

definido como el cociente entre el peso específico del suelo y el peso específico del agua a una temperatura determinada. Los valores típicos de gravedades específicas para los sólidos del suelo son entre 2.65 y 2.72. (Victor Yepes Piqueras, 2008)

#### **B.2.4 CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA**

La conductividad hidráulica representa la mayor o menor facilidad con la que el medio deja pasar el agua a través de él por unidad de área transversal a la dirección del flujo. Tiene las dimensiones de una velocidad ( $L T^{-1}$ ) y modernamente se distinguen dos tipos: la conductividad hidráulica darciana o lineal,  $K_D$  y la conductividad hidráulica turbulenta,  $K_T$ .

(f. González Hernández; m. Lópezarias; m.t. Minaya Gallego, 2007)

#### **B.2.5 RELACIÓN DE VACÍO**

La relación de vacío de un suelo es el volumen de suelo no ocupado por partículas sólidas. Cuanto mayor sea la relación de vacío más suelto es el suelo. El aumento de la proporción de huecos del suelo se realiza por el arado. Los organismos tales como los gusanos y las hormigas crean una cantidad significativa de espacio vacío en un suelo. Cuanto mayor sea la relación de vacío de un suelo más agua puede absorberse fácilmente en él. Los suelos con una alta relación de vacío facilitan a las plantas a que crezcan. (Dante Bosch, 2010)

#### **B.3 ESTABILIZACION QUIMICA**

La estabilización química consiste en alterar las propiedades del suelo usando un cierto aditivo, el cual mezclado con el suelo, normalmente produce un cambio en las propiedades moleculares superficiales de los granos del suelo y en algunos casos, pega los granos entre sí de modo de producir un incremento en su resistencia. (Hernán de Solminihac T. Gerardo Echeverría G. Guillermo Thenoux Z, 2006)

---

## **B.4 FACTORES QUE AFECTAN LA ESTABILIZACION QUIMICA**

### **B.4.1 ESTABILIDAD VOLUMÉTRICA**

La expansión y contracción de muchos suelos, originados por los cambios de humedad, se pueden presentar en forma rápida. Por tanto, si las expansiones que se desarrollan, debido a un incremento de humedad, no se controlan en algunas formas, estas presiones pueden ocasionar graves deformaciones y rupturas en los pavimentos, en general, en cualquier obra.

Es por ello que resulta necesario detectar los suelos expansivos, su composición y su tratamiento más adecuado.

Actualmente las soluciones para evitar cambios volumétricos en suelos expansivos consisten en: introducir humedad al suelo en forma periódica, aplicar cargas que equilibre la presión de expansión. Otro medio podría consistir en modificar la arcilla expansiva, transformándola en una masa rígida o granular, cuyas partículas estén lo suficientemente ligada para resistir la presión expansiva interna de la arcilla, lo cual puede lograrse por medios químicos o térmicos. En estos casos, cuando la capa a estabilizar sea de poco espesor, deberá tenerse en cuenta que el suelo subyacente es aun susceptible a expandirse, pero tales movimientos pueden tolerarse, siempre en cuando la capa estabilizada se mueva en forma uniforme (Montejo, 2001).

### **B.4.2 RESISTENCIA**

La resistencia de los suelos, es en general más baja cuando mayor sea su contenido de humedad. Los suelos arcillosos al secarse, alcanzan grandes resistencias (teniendo inclusive más alta resistencia cuando se calienta a temperaturas muy elevadas, como sucede en la fabricación de tabiques y ladrillos). Existen casos donde la disminución de la humedad puede significar una reducción en la resistencia, pues sean presentado casos de deslizamientos de tierras provocados por arcillas que se secaron y se agrietaron, provocando que el comportamiento del material sea de un suelo friccionante, puede tener menor resistencia que si se considera como cohesivo a humedades mayores. La



acción abrasiva del tránsito, por ejemplo, puede hacer que un material cohesivo se pulverice y pierda su cohesión. (Montejo, 2001).

Por otra parte dependiendo de la humedad y energía de compactación se puede lograr diferentes características de resistencia en un suelo arcilloso, ya que un suelo de estos compactado de lado seco en la curva de compactación presenta, con la humedad de compactación un comportamiento relativamente elástico y con una resistencia relativamente alta; mientras que este mismo suelo compactado con una alta humedad, no obstante que su peso volumétrico seco sea alto, presentaría resistencias bajas y comportamiento plástico o viscoso: este efecto se debe , generalmente, a que una alta humedad produce en una arcilla efectos de repulsión entre sus partículas, propiciando que la cohesión sea menor que en el caso de emplear humedades de compactación bajas. Así mismo se ha visto que en suelos finos, tiene una importancia decisiva la forma de aplicación de la energía de compactación sobre todo cuando se emplean humedades más altas que la óptima; por ejemplo, la energía aplicada por impacto, puede ocasionar que un suelo del lado húmedo presente resistencias del orden de hasta un cuarto de veces menor que la resistencia que, a igualdad de circunstancias, presenta el mismo suelo compactado en forma estática. La explicación de este fenómeno, reside en la diferente estructuración que adoptan las arcillas, al ser compactadas mediante procedimientos de compactación diferentes. Resulta evidente que los procedimientos que sirven para mantener a un suelo, sin que se presente cambios volumétricos, son también adecuados para mantener la resistencia en el suelo, como la adición de agentes que transformen a un suelo fino en una masa rígida o granular (Montejo, 2001).

#### **B.4.3 PERMEABILIDAD**

No es difícil modificar substancialmente la permeabilidad de formaciones de suelos por métodos tales como la compactación, la inyección, etc. En materiales arcillosos, el uso de floculantes (por ejemplo, polifosfatos) pueden reducir la permeabilidad también significativamente; el uso de floculantes

hidróxido de calcio o yeso) aumenta correspondientemente el valor de la permeabilidad. (Montejo, 2001).

En los suelos la permeabilidad se plantea, en términos generales, en dos problemas básicos, como lo son el relacionado con la disipación de las presiones de poro y el relacionado con el flujo de agua a través del suelo. El tener presiones de poro excesivas puede originar deslizamientos en explanaciones y el flujo de agua puede originar tubificaciones y arrastres. Si se compacta un suelo arcilloso con humedades muy bajas o prácticamente en seco, se obtendrá formalmente una alta permeabilidad en los suelos debido a los grumos que no se disgregan, resistiendo al esfuerzo de compactación y permitiendo con ello que se forme una gran cantidad de vacíos intersticiales. Mientras más alta sea la humedad de compactación se producirán menores permeabilidades en el suelo compactado, ya que este tiene mayores oportunidades de deformarse, eliminándose así grandes vacíos (Montejo, 2001).

**Tabla 6:** *Coefficientes de permeabilidad k en cm/seg*

		100	10	1	10 <sup>-1</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-7</sup>	10 <sup>-8</sup>	10 <sup>-9</sup>
<b>Drenaje</b>		<b>Bueno</b>				<b>Pobre</b>				<b>Prácticamente Impermeable</b>			
Tipo de Suelo	Grava Limpia	Arenas limpias y mezclas limpias de arena y grava.				Arenas muy finas, limos orgánicos e inorgánicos, mezclas de arena, limo y arcilla, morenas glaciares, depósitos de arcillas estratificadas.				Suelos "impermeables", es decir, arcillas homogéneas situadas por debajo de la zona de descomposición.			
Determinación Directa de k	Ensayo directo del suelo "in situ" por ensayos de bombeo. Se requiere mucha experiencia, pero bien realizados son bastante exactos.												
	Permeámetro de carga hidráulica constante. No se requiere mayor experiencia.												
Determinación Indirecta de k	Permeámetro de carga hidráulica decreciente. No se requiere mayor experiencia y se obtienen buenos resultados.				Permeámetro de carga hidráulica decreciente. Resultados dudosos. Se requiere mucha experiencia.				Permeámetro de carga hidráulica decreciente. Resultados de regular a bueno. Se requiere mucha experiencia.				
	Por cálculo, partiendo de la curva granulométrica. Solo aplicable en el caso de arenas y gravas limpias sin cohesión										Cálculos basados en los ensayos de consolidación. Resultados buenos. Se necesita mucha experiencia.		

**Fuente:** Terzaghi & Peck, 1978.

**Tabla 7:** *Clases de permeabilidad de los suelos*

CLASES DE PERMEABILIDAD DE LOS SUELOS	COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K en m/s)	
	LIMITE INFERIOR	LIMITE SUPERIOR
PERMEABLE	$2 \times 10^{-7}$	$2 \times 10^{-1}$
SEMIPERMEABLE	$1 \times 10^{-11}$	$1 \times 10^{-5}$
IMPERMEABLE	$1 \times 10^{-11}$	$5 \times 10^{-7}$

**Fuente:** Bowles, 1979.

#### **B.4.4 COMPRESIBILIDAD**

Los cambios en volumen o compresibilidad, tienen una importante influencia en las propiedades de los suelos, pues se modifica la permeabilidad, se altera las fuerzas existentes entre las partículas tanto en magnitud como en sentido, lo que tiene una importancia decisiva en la modificación de la resistencia del suelo en el esfuerzo cortante y se provocan desplazamientos. En el caso de arcillas saturadas, si no se presenta el drenaje y se aplican esfuerzos, estos serán tomados por el agua. En el momento en el que se permita el drenaje, los esfuerzos son transmitidos gradualmente al esqueleto o estructura del suelo; este proceso produce una compresión gradual de dicha estructura, fenómeno conocido como consolidación. Ahora bien, la compresibilidad del suelo puede presentar variaciones importantes, dependiendo de algunos factores tales como la relación de la capa aplicada respecto a la que el suelo soportaba anteriormente, tiempo de aplicación de la carga una vez que se ha disipado la presión de poro en exceso de la hidrostática, naturaleza química del líquido intersticial, aunados estos factores a los originados por el muestreo, sensibilidad del suelo y aun la forma de ejecutar las pruebas que se utilizan para estudiar la consolidación. Es un tanto obvio que al remoldar un suelo se modifica su compresibilidad, por lo que esta característica se puede modificar mediante procedimientos de compactación. Se ha encontrado que la humedad

de compactación tiene una gran importancia en la compresibilidad de suelos compactados, pues si se compactan dos especímenes al mismo peso volumétrico pero uno en la rama seca de la curva de peso volumétrico contra humedad y el otro en la rama húmeda, se tendrá que para presiones de consolidación bajas el espécimen compactado de lado húmedo será más compresible debido a que su estructura se encuentra más dispersa, pero para grandes presiones se tienen colapsos y reorientaciones en la estructura del espécimen que se encuentra en el lado seco, lo cual provoca que este sea ahora más compresible. Bajo presiones muy altas, ambas muestras llegan a la misma relación de vacíos ya que se llegan a una orientación similar (Montejo, 2001).

#### **B.4.5 DURABILIDAD**

Se involucra en este, aquellos factores que se refieren a la resistencia al intemperismo, a la erosión o a la abrasión del tráfico; de esta manera, los problemas de durabilidad en vías terrestres suelen estar muy asociados a suelos situados relativamente cerca de la superficie de rodamiento. En rigor, estos problemas pueden afectar tanto a los suelos naturales como a los estabilizados, si bien en estos últimos los peores comportamientos suelen ser consecuencia de diseños inadecuados, tal como una mala elección de agente del estabilizador o un serio error en su uso. Actualmente, una diferencia importante en los estudios de las estabilizaciones, es la carencia de pruebas adecuadas para estudiar la durabilidad. Las pruebas de intemperismo, a veces no son adecuadas para el estudio de agregados para pavimentos, por no reproducir en forma eficiente el ataque al que están sujetos. En las pruebas con aplicación de efectos cíclicos, no se tiene aún una correlación precisa entre el tráfico y las pruebas a que se somete los especímenes, a efectos de secado y humedecido, que son más bien del orden cualitativo que cuantitativo. La durabilidad es uno de los aspectos más difíciles de cuantificar, y la relación común ha sido la de sobre diseñar, lo que no siempre es lo más adecuado (Montejo, 2001).

## **B.5 SUELOS EXPANSIVOS**

Se conocen como suelos expansivos aquellos que presentan expansiones o contracciones, ósea cambios de volumen cuando varía su humedad o contenido de agua. Los materiales de arcilla, tienen la capacidad de absorber una gran cantidad de agua y retenerla debido a su estructura, el agua produce el incremento del volumen en el material mencionado anteriormente y también una drástica reducción del volumen cuando el agua que retenía se seca. (Patrone & Prefumo, s.f)

## **B.6 IDENTIFICACION DE SUELOS EXPANSIVOS**

### **B.6.1 IDENTIFICACIÓN MINERALÓGICA**

Los tres grupos más importantes en que se clasifican los minerales arcillosos son: illita, caolinita y montmorillonita, compuestos por hidroaluminosilicatos. Los ensayos mineralógicos tienden a detectar la presencia de montmorillonita, que es el mineral preponderantemente expansivo. La presencia de cargas eléctricas negativas en la superficie de los minerales arcillosos, así como la capacidad de intercambio catiónico resultan fundamentales para la magnitud de la expansión. Los ensayos de identificación mineralógica resultan muy usados en trabajos de investigación científica, pero resultan poco prácticos y antieconómicos para la práctica usual en ingeniería, dado que se requiere equipamiento y personal especializado. Es por este motivo que no se extiende en su desarrollo. (Patrone & Prefumo, s.f).

### **B.6.2 DETERMINACIÓN DE CIERTAS PROPIEDADES BÁSICAS DE LOS SUELOS**

A través de la medida de ciertas propiedades básicas y sencillas de los suelos se puede determinar el grado del potencial expansivo del suelo. Las propiedades a determinar son: Límite líquido y Límite Plástico, Límite de contracción, Contenido de coloides, Expansión libre del suelo. Estos métodos tienen la ventaja de su fácil realización y de equipamiento disponible en todos los laboratorios. La desventaja

es que no se cuantifica la expansión, sino que cualitativamente se establecen categorías de grados del potencial expansivo. (Patrone & Prefumo, s.f)

#### **B.6.2.1 Límite Líquido y Límite Plástico**

Investigadores como Seed, Woodward y Lundgren demostraron que las características plásticas de los suelos pueden ser usados como un indicador primario de la característica expansivas de las arcillas. Es natural pensar en una relación como la antes mencionada ya que ambas dependen en la cantidad de agua que una arcilla absorbe. La relación entre las características plásticas y el hinchamiento de los suelos puede establecerse como:

**Tabla 7:** *Grado de potencial expansivo*

<b>Grado de Potencial Expansivo</b>	<b>Índice Plástico</b>
Bajo	0 – 15
Medio	10 – 35
Alto	20 – 55
Muy Alto	> 35

**Fuente:** (Patrone & Prefumo, s.f)

Si bien es cierto que todos los suelos altamente expansivos tienen plasticidades altas, no es cierto que los suelos con elevada plasticidad sean necesariamente expansivos.

#### **B.6.2.2 Contenido de Coloides**

Dentro de los materiales que tiene un tamaño inferior a 74 micras están los limos y las arcillas. Desde el punto de vista del tamaño se considera arcillas aquellos materiales que tienen un tamaño inferior a 2 micras (0.002 mm), siendo necesario para su determinación la realización de un ensayo hidrométrico. La magnitud de la expansión que experimenta una arcilla está vinculado con la cantidad de partículas de tamaño arcilla presente en el suelo.

Se ha establecido una relación del tipo:  $S = k \cdot C \cdot X$

Dónde:

S = Hinchamiento potencial, expresado como % del hinchamiento de una muestra compactada a la humedad óptima y al P.U.S.M. según Proctor Estándar.

C = Porcentaje de fracción arcilla (partículas menores a 0.002 mm).

x = exponente que depende del tipo de arcilla

k = Coeficiente que depende del tipo de arcilla.

x y k, que indican el tipo de partículas coloidales presentes se determinan a través de ensayos difracción por rayos X. (Patrone & Prefumo, s.f)

### **B.6.2.3 Determinación de la expansión Libre**

Este ensayo consiste en colocar en una probeta normalmente cilíndrica un volumen conocido de suelo “seco” y sumergirlo en agua sin aplicación de sobrecarga alguna, mientras se mide la expansión. La diferencia entre el volumen final e inicial, expresado como un porcentaje del volumen inicial es la expansión libre. Esta medida de la expansión se realiza en condiciones muy desfavorables, ya que se hace en condiciones de ninguna sobrecarga y hoy en día se utilizan métodos más adecuados a tales efectos. Experimentos realizados por Holtz indican que una arcilla como la bentonita comercial puede tener en este ensayo expansión del orden de 1200 a 2000 %. Holtz sugiere que las expansiones medidas en este ensayo por encima del 100 % pueden causar daños significativos a la estructura, mientras que suelos que alcanzan una expansión por debajo del 50 %, rara vez experimentan cambios de volúmenes apreciable bajo la aplicación de cargas estructurales, aún cuando estas sean provenientes de estructuras livianas. (Patrone & Prefumo, s.f)

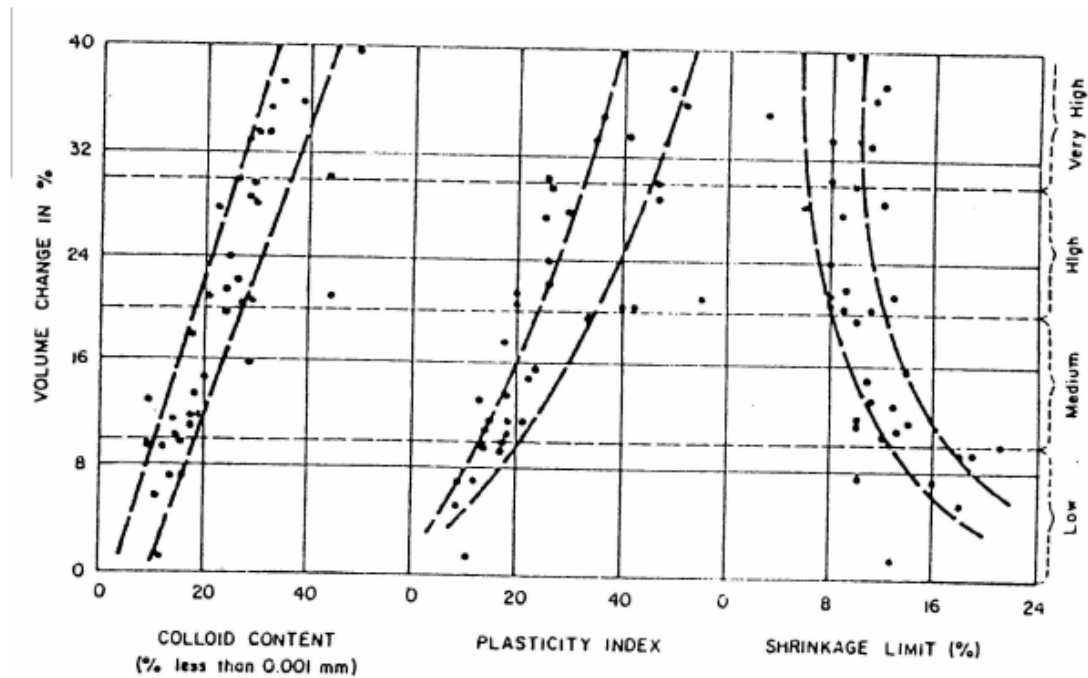
### **B.6.2.4 Evaluación del potencial expansivo en base a los métodos expuestos.**

Existen varios métodos que realizando diversas combinaciones de los resultados de las medidas de las propiedades antes mencionadas clasifican en categorías los potenciales expansivos del suelo **Método desarrollado por Holtz y Gibbs**

En el gráfico siguiente se muestra una relación típica entre el contenido de coloides, el Índice

Plástico y el límite de contracción. (Patrone & Prefumo, s.f)

Figura 2: Relacion Coloides-Índice plástico



Fuente: (Patrone & Prefumo, s.f)

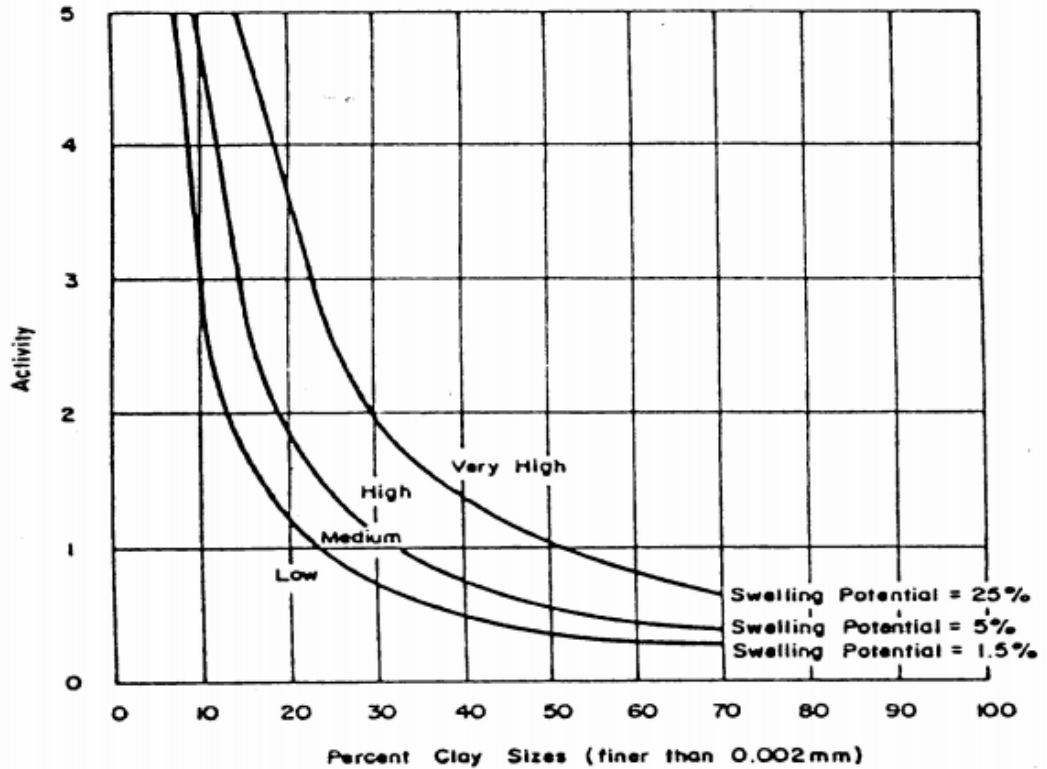
Basado en las curvas presentadas Holtz propone el siguiente criterio para la identificación de suelos expansivos:

Contenido de coloide (< 0.001 mm) en %	Índice Plástico	Shrinkage Limit	% Expansión bajo carga de 1.0 psi	Grado de Expansión
> 28	>35	<11	>30	Muy alto
20-13	25-41	7-12	20-30	Alto
13-23	15-28	10-16	10-30	Medio
>15	<18	>15	<10	Bajo

Método del “Índice de la actividad de la arcilla” propuesto por Seed, Woodward y Lundgren Está basado en muestras remoldeadas de suelo compuestos por mezcla de arcillas, bentonita, illita, caolinita y arena fina. La expansión se midió como un % del hinchamiento que experimentan probetas compactadas al 100 % del P.U.S.M. del Proctor Estándar y con el contenido de humedad óptimo y sometidas a una sobrecarga de 1 Psi La actividad de la arcilla se define como:  $A = PI / (C - 10)$  IP: Índice Plástico C = % < 0.002 mm (Patrone & Prefumo, s.f)



**Figura 3:** Relación Actividad frente al porcentaje de arcilla (Patrone & Prefumo, s.f)



Fuente: (Patrone & Prefumo, s.f)

### B.6.3 MÉTODOS INDIRECTOS DE DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL EXPANSIVO DEL SUELO

Estos métodos consisten en predecir el potencial expansivo del suelo de una forma cualitativa, en base a medidas directas de la expansión del suelo sobre muestras remoldeadas compactadas en condiciones prefijadas de humedad y densidad. Los métodos más utilizados son el de “Ladd y Lambe” auspiciado por la Federal Housing Administration y el método de “PVC” o método de la medida del cambio volumétrico. (Patrone & Prefumo, s.f)

### B.6.4 MEDIDAS DIRECTAS DE LA EXPANSIÓN DEL SUELO.

Estos métodos consisten en medir la expansión del suelo al saturarlo bajo diferentes condiciones de carga, graficándose las variaciones de hinchamiento para diferentes presiones aplicadas. Es universalmente aceptado que los dos parámetros que definen el Potencial de Hinchamiento son:

- **Presión de hinchamiento (PS)** definida como la presión aplicada en laboratorio sobre una muestra de suelo expansivo para que, una vez en contacto con agua, la probeta mantenga constante su volumen inicial, es decir que la variación de volumen sea nula.
- **Hinchamiento libre (Hc)** definido como el % de la elevación máxima para presión nula en relación a la longitud inicial de la probeta. (Patrone & Prefumo, s.f)

#### C.DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS:

##### **ESTABILIZADOR QUÍMICO:**

Es un producto químico, el cual se debe mezclar íntima y homogéneamente con el suelo, para tratar y curar de acuerdo a especificaciones técnicas del producto, mejorando ciertas propiedades propias del suelo, ya sea en la etapa de construcción y/o servicio.

##### **SUELOS EXPANSIVOS:**

Son aquellos suelos que presentan expansiones o contracciones, ósea cambios de volumen cuando varía su humedad o contenido de agua.

##### **PROPIEDADES MECANICAS:**

Son propiedades físicas que describen el comportamiento de un material sólido, al aplicarle fuerzas de tracción, compresión, torsión, entre otros.

##### **ESTABILIZACION:**

Consiste en dar estabilidad al sustrato fijándolo y garantizando la permanencia de su compactación. Se transforma el suelo del que se dispone en material de construcción de calidad especialmente en parcelas de tierra, caminos y lagos artificiales

CUADRO RESUMEN DE LA ZONIFICACION RESIDENCIAL

RESIDENCIAL	NORMAS GENERALES					NORMAS PARA EDIFICACIONES Aplicable en casos de habilitaciones nuevas, en zonas en proceso de consolidación y/o en zonas consolidadas.				
	Tipo de densidad	Usos Predominantes	Densidad Hab/Há	Dimensiones de Lote (Mínimo)		Máximo Coeficiente Edificación	Altura Máxima Edificación	Área Libre Mínima (		
			Neta	Área (m2)	Frente (ml)			Total	Ancho mínimo ducto (ml/ m2)	
									2 y 3 pisos	4 pisos
DENSIDAD BAJA	<b>RDB-2</b> (Sector Las Lomas)	Unifamiliar	165	200	8	1.2	2 pisos	40%	2.20 / 4.84	2.50 / 6.25
DENSIDAD MEDIA	<b>RDM-1</b> (Huanchaquito Bajo I y II Etapa, Bello Horizonte y Villa Aeropuerto)	Unifamiliar Bifamiliar	300	200	8	2.1	3 pisos	30%		
	<b>RDM-1</b> Huanchaco Tradicional, excepto Zona PE/HM)	Unifamiliar Bifamiliar	350	160	6	2.1	3 pisos	30%		
	<b>RDM-2</b> (El Tablazo, y Huanchaquito Alto- San Carlos, Bellamar)	Unifamiliar Bifamiliar	500	450	15	2.1	3 pisos	30%		
		Multifamiliar Conjunto Residencial o Quintas								
	Multifamiliar (*) Conjunto Residencial (*)				2.8	4 pisos	30%			
RESIDENCIAL COMERCIAL ( R-C)	<b>(RDM-1)</b>	Unifamiliar Bifamiliar Comercio C2-C3	300	200	10	2.1	3 pisos	30%		
RESIDENCIAL Y TURISTICO-RECREACIONAL (R-TR)	<b>(RDM-2)</b>	Unifamiliar Bifamiliar Multifamiliar Comercio Especializado (CE)	500	450	15	2.8	4 pisos	30%		

---

## EFFECTOS ESPECÍFICOS DE ESTABILIZACIÓN DE LOS SUELOS CON SODA CAUSTICA

Es un sólido blanco, higroscópico (absorbe humedad del aire), que corroe la piel y se disuelve muy bien en el agua liberando una gran cantidad de calor. Generalmente se utiliza en forma sólida o en solución. El hidróxido de sodio es uno de los principales compuestos químicos utilizados en la industria. Por ejemplo, es ampliamente utilizado en la fabricación de papel, en la industria del algodón, en la industria textil, en la fabricación de jabón y en la fabricación de muchos otros productos químicos.

Es un aditivo químico para la estabilización, inmovilización e inertización de suelos y otros materiales.

### III. CONCLUSIONES

- Se redactaron las bases teóricas de la influencia de la soda caustica en la estabilización de suelos en la zona de Huanchaco – Trujillo encontrando toda la información necesaria para realizar dicha investigación.
- Se definió la información correspondiente a los tipos y usos de soda caustica.
- Se identificó la teoría necesaria para el conocimiento de la estabilización de suelos como es que el suelo mejora las propiedades físicas y mecánicas través del uso de adiciones.

#### IV. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS:

- Liliana Meneses, Julián Córdova, Oscar Cabrera, Carlos Torres. (2014). Estabilización de suelos con soda cáustica. 2017, de universidad cooperativa de Colombia sitio web:  
<https://prezi.com/wzpg26ganupv/estabilizacion-de-suelos-con-soda-caustica/>
- Cedeño Plaza David Gabriel. (2013). Investigación de la estabilización de suelos con enzima aplicado a la sub-rasante de la avenida Quitumbe - Ñan, cantón Quito. Ecuador
- Rosa Ilique Mondragón. (2014). Efecto de la cal como estabilizante de una subrasante de suelo arcilloso. Cajamarca, Perú.
- Arq. Lizarzaburu Manuel. (2014). Impacto de la gestión del espacio de la ciudad en función de la condición socioeconómica de la población distrital de Huanchaco. 2017, de universidad privada del norte sitio web:  
<https://es.slideshare.net/miguelitollontop/diagnostico-urbano-huanchaco>
- Dagoberto Núñez Rojas. Elección y dosificación del conglomerante en estabilización de suelos. web:  
[http://biblioteca.itson.mx/dac\\_new/tesis/317\\_nunez\\_dagoberto.pdf](http://biblioteca.itson.mx/dac_new/tesis/317_nunez_dagoberto.pdf)
- Abel Darwin Velarde del Castillo. (2014). Aplicación de la metodología de superficie de respuesta en la determinación de la resistencia a la compresión simple de suelos arcillosos estabilizados con cal y cemento. Puno: Perú.



- 
- Gutiérrez Montes, Carlos Alberto. (2010). estabilización química de carreteras no pavimentadas en el Perú y ventajas comparativas del cloruro de magnesio (bischofita) frente al cloruro de calcio. La Libertad: Perú.
  - De la Cruz Gutiérrez, Lizzeth mercedes y Salcedo Rojas, Kaite Karen. (2013). “Estabilización de suelos cohesivos por medio de aditivos (eco road 2000) para pavimentación en Palian – Huancayo.”. Junín: Perú.
  - Rocío del Carmen Pérez Collantes. (2012). Estabilización de suelos arcillosos con cenizas de carbón para su uso como subrasante mejorada y/o sub base de pavimentos. Lima: Perú.
  - Quimicanet. (2012). Características de la soda caustica. 2016, de Quimicanet sitio web: [www.quiminet.com/articulos/las-caracteristicas-mas-importantes-de-la-sosa-caustica-2683089.htm](http://www.quiminet.com/articulos/las-caracteristicas-mas-importantes-de-la-sosa-caustica-2683089.htm)



ANEXO N° 2

MATRIZ DE DATOS

Items	TEMA	AUTOR	FUENTE
1	Estabilización de suelos con soda cáustica. 2017, de universidad cooperativa de Colombia	Liliana Meneses, Julián Córdova, Oscar Cabrera, Carlos Torres	<a href="https://prezi.com/wzpg26ganupv/estabilizacion-de-suelos-con-soda-caustica/">https://prezi.com/wzpg26ganupv/estabilizacion-de-suelos-con-soda-caustica/</a>
2	Investigación de la estabilización de suelos con enzima aplicado a la subrasante de la avenida Quitumbe	Cedeño Plaza David Gabriel. (2013).	<a href="http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/2201">http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/2201</a>
3	Efecto de la cal como estabilizante de una subrasante de suelo arcilloso	Rosa Ilique Mondragón. (2014).	<a href="http://repositorio.unc.edu.pe/handle/UNC/686">http://repositorio.unc.edu.pe/handle/UNC/686</a>





4	Impacto de la gestión del espacio de la ciudad en función de la condición socioeconómica de la población distrital de Huanchaco. 2017,	Arq. Lizarzaburu Manuel. (2014).	<a href="https://es.slideshare.net/miguelitollontop/diagnostico-urbano-huanchaco">https://es.slideshare.net/miguelitollontop/diagnostico-urbano-huanchaco</a>
5	Elección y dosificación del conglomerante en estabilización de suelos	Dagoberto Núñez Rojas	<a href="http://biblioteca.itson.mx/dac_new/tesis/317_nunez_dagoberto.pdf">http://biblioteca.itson.mx/dac_new/tesis/317_nunez_dagoberto.pdf</a>
6	Aplicación de la metodología de superficie de respuesta en la determinación de la resistencia a la compresión simple de suelos arcillosos estabilizados con cal y cemento.	Abel Darwin Velarde del Castillo. (2014).	<a href="http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/2273">http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/2273</a>
7	Estabilización de suelos arcillosos con cenizas de carbón para su uso como subrasante mejorada y/o sub base de pavimentos. Lima: Perú	Rocío del Carmen Pérez Collantes. (2012)	<a href="http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/1313">http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/1313</a>