

**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TRUJILLO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**DISEÑO DE MEZCLA A NIVEL DE AFIRMADO APLICANDO EL ADITIVO  
PERMA-ZYME 11X EN EL TRAMO DE LA VIA MANCO CAPAC, EN EL  
DISTRITO DE HUANCHACO, PROVINCIA DE TRUJILLO,  
DEPARTAMENTO LA LIBERTAD 2021**

**TESIS  
PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO CIVIL**

**AUTORES:**

**Bach. CRISTIAN EDUARDO ALVARO BECERRA  
Bach. ENRIQUE JORDAN CORNEJO CORREA**

**ASESOR:**

**ING. ELTON JAVIER GALARRETA MALAVER**

**TRUJILLO – PERÚ  
2021**

## HOJA DE FIRMAS

El (La) asesor(a) y los miembros del jurado evaluador asignados, **APRUEBAN** la tesis denominada:

**DISEÑO DE MEZCLA A NIVEL DE AFIRMADO APLICANDO EL ADITIVO  
PERMA-ZYME 11X EN EL TRAMO DE LA VIA MANCO CAPAC, EN EL  
DISTRITO DE HUANCHACO, PROVINCIA DE TRUJILLO, DEPARTAMENTO  
LA LIBERTAD 2021**

Autores:

Bach. Cristian Eduardo Alvaro Becerra

Bach. Enrique Jordan Cornejo Correa

Miembros Del Jurado:

-----  
PRESIDENTE

Mg. Ing. Enrique Manuel Durand Bazán

-----  
SECRETARIO

Ing. Elton Javier Galarreta Malaver

-----  
VOCAL

Ing. Guido Robert Marin Cubas



## DEDICATORIA

A mis padres que me apoyaron incondicionalmente, por su apoyo constante y cultivar mis buenos valores, por enseñarme a luchar por mis metas y por brindarme fuerzas para lograr el objetivo.

A Dios, por su infinito amor y ser mi fortaleza para lograr mis metas, guiar mi camino en cada etapa de mi vida.

A mi compañera y amor de mi vida, por su amor y apoyo constante a seguir superándome.

Enrique Jordan Cornejo Correa



## DEDICATORIA

Le doy Gracias a Dios por darme la vida, salud, bienestar y el valor para salir adelante, me siento muy feliz, agradecido y bendecido por culminar esta gran etapa de mi vida. Dedico este presente trabajo, primeramente, a Dios y luego a todas las personas que me apoyaron a lo largo de este camino; gracias a mi familia por todo el apoyo que recibí de ellos, su esfuerzo y dedicación me ayudó bastante a poder perseverar y seguir adelante.

También quiero agradecer a mis padres, por siempre estar alentándome a seguir, incluso en los momentos más difíciles, siempre estuvieron y están ahí conmigo cuando más los necesito.

Cristian Eduardo Alvaro Becerra

## AGRADECIMIENTO

A nuestros padres, por educarnos con valores, por sus consejos e impulso a seguir adelante, a nuestro asesor por el tiempo dedicado a lograr nuestras expectativas en la presente tesis. A la, Universidad Privada De Trujillo quien nos impartió conocimientos por medio de docentes preparados y de gran experiencia profesional donde nos dieron cátedra de la misma experiencia misma, como también nos brindaron apoyo e información necesaria para poder continuar la presente tesis propuesta. Siempre impulsándome a ser mejor persona siempre llevando en alto el nombre de la Universidad Privada De Trujillo. Dar gracias a dios.

También quiero agradecer a nuestra familia quien siempre nos motivó y apoyó en este proceso que nos emprendía en este viaje, a A Dios, por darnos vida y salud, agradecido por las oportunidades y bendiciones que nos da en el día a día.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>I. CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>10</b>
1.1 REALIDAD PROBLEMÁTICA .....	10
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	15
1.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	15
1.4 OBJETIVOS .....	16
1.4.1 OBJETIVO GENERAL .....	16
1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	17
1.5 DEFINIR LA METODOLOGÍA .....	17
1.6 MARCO TEÓRICO .....	17
1.6.1 ANTECEDENTES.....	17
1.6.2 RESISTENCIA DEL SUELO .....	22
1.6.3 LOCALIZACIÓN .....	31
1.6.4 CONDICION CLIMÁTICA Y ALTITUD.....	32
1.6.5 ACCESO AL ÁREA.....	32
1.6.6 PERMA-ZYME 11X.....	33
1.6.7 ESTABILIZACIÓN EN CAMINOS DE TRÁFICO PESADO .....	35
1.6.8 CONSTRUCCIÓN DE UN CAMINO O VÍA.....	35
1.6.9 ESTUDIOS DE LABORATORIO .....	36
1.6.10 DISTINTOS TIPOS DE SUELO .....	37
1.6.11 ¿PARA QUÉ SIRVE UN ESTUDIO DE SUELO? .....	39
1.6.12 ¿CÓMO SE HACE UN ESTUDIO DE SUELO?.....	40
1.7 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.....	43
1.8 FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS.....	44
<b>II. CAPÍTULO II: MATERIALES Y METODOLOGÍA .....</b>	<b>45</b>
2.1 VARIABLES Y OPERACIONALIZACIÓN .....	45
2.2 TIPO DE DISEÑO DE INVESTIGACIÓN .....	48
2.3 MATERIAL DE ESTUDIO .....	49
2.3.1 POBLACIÓN.....	49
2.3.2 MUESTRA.....	50
2.4 TÉCNICAS, PROCEDIMIENTOS E INSTRUMENTOS .....	51
2.4.1 DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	51
2.4.2 DE PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN.....	51
<b>III. CAPÍTULO III: RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>55</b>
<b>IV. CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES.....</b>	<b>79</b>
<b>V. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>80</b>

---

<b>VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>82</b>
<b>VII. ANEXOS .....</b>	<b>84</b>

### ÍNDICE DE FIGURAS

<b>FIGURA 1: LOCALIZACIÓN DEL DISTRITO DE HUANCHACO.....</b>	<b>32</b>
<b>FIGURA 2: UBICACIÓN DEL DISTRITO DE HUANCHACO – GOOGLE EARTH.....</b>	<b>33</b>
<b>FIGURA 3: VISTA PANORÁMICA DE LA VIA MANCO CAPAC – VICTOR RAUL .....</b>	<b>50</b>
<b>FIGURA 5: ENSAYOS DE LABORATORIO - PROPIEDADES FÍSICAS .....</b>	<b>84</b>
<b>FIGURA 4: ENSAYOS DE LABORATORIO - PROPIEDADES FÍSICAS .....</b>	<b>84</b>
<b>FIGURA 7: ENSAYOS DE LABORATORIO - PROPIEDADES FÍSICAS .....</b>	<b>85</b>
<b>FIGURA 6: ENSAYOS DE LABORATORIO - PROPIEDADES FÍSICAS .....</b>	<b>85</b>
<b>FIGURA 9: ADITIVO PERMA – ZYME 11X .....</b>	<b>85</b>
<b>FIGURA 8: ENSAYOS DE LABORATORIO - PROCTOR MODIFICADO.....</b>	<b>85</b>

### ÍNDICE DE TABLAS

<b>TABLA 1: VÍAS DE ACCESO A LA VIA MANCO CAPAC – VICTOR RAUL.....</b>	<b>33</b>
<b>TABLA 2: TIPOS DE SUELO (BUENO Y MALO) – CARACTERÍSTICAS .....</b>	<b>39</b>
<b>TABLA 3: PLANTEAMIENTO DE LA HIPÓTESIS.....</b>	<b>44</b>
<b>TABLA 4: HIPÓTESIS GENERAL .....</b>	<b>47</b>
<b>TABLA 5: ENSAYOS A REALIZAR A LA MUESTRA OBTENIDA.....</b>	<b>54</b>
<b>TABLA 6: DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD.....</b>	<b>55</b>
<b>TABLA 7: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO .....</b>	<b>57</b>
<b>TABLA 8: LÍMITES DE CONSISTENCIA .....</b>	<b>60</b>
<b>TABLA 9: ENSAYOS ESTÁNDAR.....</b>	<b>61</b>
<b>TABLA 10: ENSAYO PROCTOR MODIFICADO .....</b>	<b>63</b>
<b>TABLA 11: ENSAYO DE CBR EN LABORATORIO SIN ADITIVO SUMERGIDO.....</b>	<b>70</b>
<b>TABLA 12: CURVA DENSIDAD – CBR AL 95% Y 100 % DE MUESTRA SIN ADITIVO – SUMERGIDO.....</b>	<b>72</b>



<b>TABLA 13: ENSAYO DE CBR EN LABORATORIO CON ADITIVO SUMERGIDO.....</b>	<b>74</b>
<b>TABLA 14: CURVA DENSIDAD – CBR AL 95% Y 100 % DE MUESTRA CON ADITIVO SUMERGIDO.....</b>	<b>76</b>



## RESUMEN

La presente investigación se realizó en Trujillo, en la Universidad Privada de Trujillo utilizando el Laboratorio de Mecánica de Suelos de ENCOPI GROUP S.R.L., tuvo como objetivo realizar los ensayos de Contenido de Humedad, Granulometría, Límites de Atterberg (Líquido y Plástico), Índice de Plasticidad, Proctor Modificado, California Bearing Ratio (C.B.R.), Norma Técnica CE – 010 Pavimentos Urbanos, para la carretera de Laredo, para el desarrollo de esta Tesis se utilizó un diseño Experimental, Cualitativo, fue no probabilístico, para la recolección de datos se utilizó la técnica de la observación experimental y el instrumento utilizado fue la guía de observación. El principal problema radica en la falta de resistencia del suelo para la transitabilidad de los vehículos y tendrá efecto en el tráfico vehicular que transita por el lugar.

La investigación va enfocada a realizar una comparación de resistencia y capacidad portante de soporte de un afirmado sin tratamiento y un afirmado tratado con el estabilizador ecológico PERMA-ZYME 11X, ambos trabajados de manera convencionales. El tipo de suelo seleccionado para el estudio fue terreno natural arcillo puesto en obra ubicado en el Lote de Área Reservada GRLL-10 Etapa II, Sector 5, Valle Moche; el cual se estabilizó in situ al igual que en los ensayos de CBR de laboratorio.

La intención es mejorar algunas características físico-mecánicas a la hora de trabajar con el estabilizante (PERMAZYME 11X), ya utilizada en diferentes áreas en la aplicación de la ingeniería de pavimentos E – 010; estableciendo un análisis comparativo entre los afirmados sin tratamiento y con tratamiento en donde se busca conocer cuál de los dos es más eficiente en el momento de cambiar la propiedades anteriormente mencionadas, y cual es más práctico en su ejecución y cuan resistente sería siendo estabilizado.

## I. CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

### 1.1 REALIDAD PROBLEMÁTICA

Según el autor, las subrasantes de pavimento deben ser estables durante la construcción y funcionar durante toda la vida útil del pavimento. A menudo, la subrasante es el miembro más débil de la estructura del pavimento y es un factor importante que influye en el rendimiento del pavimento. Esta durante la construcción debe ser lo suficientemente estable para evitar surcos, agrietamientos o fisuras. La subrasante también debe proporcionar una plataforma sólida para que las diversas capas de pavimento puedan colocarse y compactarse de manera eficaz y eficiente. Esta también debe servir como una "plataforma de trabajo" y poseer la resistencia para que las grandes deformaciones permanentes no se acumulen durante un largo periodo de tiempo y afecten el desempeño del pavimento.

Los pavimentos generalmente están diseñados para soportar las cargas de tráfico anticipadas después de que el sistema de pavimento total esté construido. Los esquemas de diseño de este tipo, normalmente, consideran la falla por fatiga o la tendencia de las capas del pavimento para romperse bajo cargas repetidas de las ruedas de tráfico. Por lo general, no se tienen en cuenta la necesidad de soportar vehículos con cargas pesadas, como camiones de grava o de hormigón, durante la construcción.

Según el autor, existen diversas variables a considerar cuando se diseño la construcción de un pavimento, entre las más importantes están la resistencia, densidad óptima, contenido de humedad y la capacidad portante. La capacidad portante es la capacidad del suelo para soportar las cargas aplicadas al suelo. A veces, en sitios de suelo blando, pueden ocurrir grandes asentamientos bajo cimientos cargados sin que ocurra una falla por cizallamiento real; en tales casos, la capacidad de carga permitida se basa en el asentamiento máximo permitido.

Según el autor, la construcción y el mantenimiento de carreteras de alta calidad es una prioridad cada vez mayor en todo el mundo. Asimismo, debido a que los

pavimentos se someten a exigencias cada vez mayores, muchos pavimentos asfálticos requieren aditivos para mitigar la fatiga inducida por el medioambiente y el tráfico. Por ello se optó por escoger un aditivo asfáltico para que pueda ser agregado al afirmado para observar las mejoras en sus características tales como: la constructibilidad, aumentar las cargas del tráfico, mayor resistencia al corte o disminuir el costo total del ciclo de vida del pavimento. El aditivo asfáltico PERMA-ZYME 11X es reconocido como el mejor aditivo en mejoramiento de suelos en el mundo.

PERMA-ZYME 11X crea carreteras duraderas y ecológicas. Estas carreteras necesitan menos mantenimiento y menos reparaciones que las carreteras convencionales, lo que significa que ahorrará tiempo y dinero año tras año. Este aditivo es una mezcla de enzimas especialmente diseñada para impulsar la unión catalítica para estabilizar, mejora los procesos de homogenización, compactación, impermeabilización y endurecer las partículas del suelo en un material similar al cemento; asimismo, incrementa la resistencia al esfuerzo de carga (CBR) y corte de suelo. Debe aplicarse con agua a las superficies de la carretera durante la compactación.

PERMA-ZYME 11X producirá una superficie de carretera adherida, resistente al agua y de alta densidad con una larga vida útil. Es importante destacar que se puede usar con suelo natural, lo que reduce en gran medida los costos totales de construcción de una manera ecológica y natural. También se puede utilizar para una variedad de aplicaciones, incluida la construcción de caminos de tierra, bases de caminos pavimentados y revestimiento de estanques. Crea una unión única de las partículas del suelo para crear una superficie similar al hormigón.

### ➤ EN CHILE

(Gonzales, Fuentes, 2013), en su tesis presentada para optar el título de Ingeniero Civil denominada Estabilización de Suelos mediante el Químico Gt-24x en suelos de Subrasante de la Ciudad de Concepción, tuvo como objetivo evaluar la necesidad de hallar nuevos métodos, procedimientos y, a la vez, nuevos productos que permitan el correcto diseño de las vías terrestres con un incremento de sus

estándares y con un confortable mantenimiento a lo largo de su vida útil.

Por ello, se propone una mejora basado en un estudio experimental con la adición de GT-24X en suelos de subrasante comunes desde un punto de vista geomecánico, tomando como punto de inicio el valor de la razón obtenidos con la ayuda de diferentes configuraciones de aditivo.

Con el fin de obtener los objetivos planteados, se elaboró una cadena de configuraciones de mezcla entre suelo y el aditivo Perma-zyme 11x, estos fueron sometidos a todos los ensayos requeridos para determinar el valor del CBR.

Este antecedente es considerando para la presente investigación ya que los resultados obtenidos nos permiten observar con precisión el mejoramiento del terreno en el tipo de suelo arena arcilloso, toman una tendencia alcista al incremento de la razón de soporte cuando se añade el aditivo. Por otro lado, en una arena limosa no se aprecia, en ningún sentido, el impacto del aditivo, ya que no se presenta un claro aumento en el valor del CBR

#### ➤ **EN LAMBAYEQUE**

(Nazario, 2016), en su tesis presentada para optar el título de Ingeniero Civil denominada Estabilizacion de Suelos con aditivo Permazyme aplicado a bases en Suelos Finos y Granulares para Pavimentos en el Departamento de Lambayeque, tuvo como objetivo exponer las ventajas que se obtienen al mejorar un suelo cuyas propiedades tanto físicas y mecánicas son poco eficientes.

Aplica para suelos que, mayormente, se encuentran en repetidas ocasiones en diferentes partes del país, creando así expectativas no tan favorables dentro de la ingeniería, al ser estos las bases de la pavimentación.

Como resultado se obtuvo las proporciones óptimas de los estabilizantes. Los resultados permitieron obtener las cantidades correctas para cada caso. Por consiguiente, se analizaron las propiedades físicas y químicas de una porción del terreno y luego se conformó una mezcla con los diferentes agentes estabilizantes

y los alrededores. Además, se determinaron los datos de partida que fueron comparados con los obtenidos de la mezcla estabilizada Perma-zyme 11x, al realizar los ensayos de laboratorio.

Este antecedente es considerando para la presente investigación ya que los resultados obtenidos nos permiten demostrar las proporciones correctas al aplicar el aditivo Perma-zyme y, asimismo, minimizar los gastos y lograr una estructura mejorada del pavimento sin afectar su forma estructural inicial.

### ➤ **EN LA LIBERTAD**

Según (Allcca, s/f), en su tesis presentada para optar el título de Ingeniero Civil denominada Mejoramiento de la Base y sub base en pavimentos con aditivos Permazyme, tuvo como objetivo demostrar que aplicando el aditivo del Perma-Zyme 11x permite una gran compactación y mejoramiento de suelos y han sido utilizadas en otros países con gran éxito, logrando aumentar la vida útil y disminuyendo la frecuencia en el mantenimiento. Al analizarlo a mediano y largo plazo, resulta ser una solución competitiva y económicamente, ofreciendo mejores superficies de rodadura.

Este aditivo viene siendo utilizado en miles de kilómetros de U.S.A (desde Alaska a Arizona) y en otros países como China, Rusia, Europa, y Argentina. Debido a las experiencias en las diferentes estabilizaciones con PERMAZYME 11X, se realizan algunas recomendaciones que se consideran pertinentes.

Realizar los ensayos de laboratorio necesario, para el diseño y para la construcción, tomar la humedad presente del suelo antes de aplicar la mezcla de agua + PERMA-ZYME 11X.

Preferiblemente no se debe trabajar bajo condiciones de lluvia, puesto que si el suelo se encuentra disgregado absorberá más agua de la necesaria y se deberá eliminar el exceso de la misma antes de aplicar PERMA-ZYME 11X.

Este antecedente es considerando para la presente investigación ya que los

resultados obtenidos nos permiten conocer la cantidad de suelo que se trabajara en la jornada para coordinar maquinaria, volumen de agua, volumen de PERMA-ZYME 11X y más.

Asimismo, como recomendación la primera pasada al compactar sea sin vibrar y las siguientes vibrando, en cada capa estabilizada. En la posible, para obtener resultados mejores, en el suelo se debe tratar de llevar a una granulometría o gradación similar a una base granular.

### ➤ EN HUANCHACO

(Fernández, 2015), en su tesis presentada para optar el título de Ingeniero Civil denominada Pavimentos Estructurales Biotecnológicos de larga vida, empleando el Aditivo Ecológico Permazyme 11x en vías afirmadas y su aplicación en la pista de prueba del Instituto De Biotecnología Molecular y reproductivo animal Ibmra-Upao, tuvo como objetivo emplear el uso del aditivo permazyme como alternativa en la construcción de vías afirmadas logrando así un costo mucho menor a comparación de lo tradicional. Actualmente, los caminos construidos con sistemas tradicionales tienen una serie de limitaciones, como alto costo, dificultad para obtener materiales cercanos a los requisitos de trabajo (cumpliendo con las especificaciones requeridas), daño ambiental por remoción de materiales en la cantera y condiciones climáticas. y muchos más.

En el mundo desde hace casi 30 años, venimos estudiando el uso de alternativas baratas en la construcción de caminos de suelo inestable (caminos de afirmados), que tienen poco o ningún impacto ambiental en el área de construcción., Y lo más importante, cumplen con los requisitos técnicos. especificaciones requeridas para el servicio a largo plazo. Uno de los productos que se utilizaron para ejecutar el proyecto es el aditivo ecológico PERMA-ZYME 11X.

Como resultado se obtuvo que, el estabilizador mejoró la calidad de la estructura, así como las propiedades físicas de la vía afirmada.

PERMA-ZYME 11X es un producto inofensivo-no tóxico-ecológico producido

en los Estados Unidos desde hace más de 25 años. Se sigue utilizando en la actualidad y ha logrado excelentes resultados en su aplicación, mejorando así la calidad de suelos inestables y reduciendo costos en el diseño de carreteras, costos de construcción, costos de mantenimiento y evitación de impactos mayores al medio ambiente. Algunos países que tienen el mayor impacto en el medio ambiente global, como India, México y los Países Bajos, están utilizando este producto para contribuir al medio ambiente.

Este antecedente es considerando para la presente investigación ya que los resultados obtenidos nos permiten demostrar la efectividad de la aplicación del aditivo en el mejoramiento de las propiedades físicas y mecánicas de la estructura del pavimento.

## **1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

¿Cuál es el diseño de mezcla a nivel de afirmado aplicando el aditivo Perma-zyme 11X, en el Distrito de Huanchaco en el año 2021?

## **1.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

Este proyecto de investigación se justifica porque se busca mejorar la resistencia del afirmado usando el estabilizador ecológico PERMA-ZYME 11X proporcionado por nuestro auspiciador, comparando los resultados de los análisis de laboratorio de un afirmado sin tratamiento con un afirmado tratado con PERMA-ZYME 11X y explicando además la fácil aplicación de este aditivo en un afirmado con excelentes resultados.

### **➤ COMO BENEFICIO GENERAL SE PUEDE MENCIONAR**

Además, con el presente aditivo PERMA-ZYME 11X se permitirá dar una solución técnica y económica al problema de transitabilidad que se tiene actualmente en las vías que unen los Distrito, Pueblo Jóvenes, etc., mejorando así su conectividad y transitabilidad entre estos, además de permitir el desarrollo socio-económico de sus provincias, así como mejorar la calidad de vida de sus

pobladores.

#### ➤ **COMO BENEFICIO ESPECIFICO SE PUEDE MENCIONAR**

Además, los pobladores tendrán más oportunidades con los negocios, por la accesibilidad a este sector, sin contaminación, restaurantes con mucha demanda, tiendas mejoradas, banco fácil de llegar a ellos, y mercado lleno de variedades de alimentos por la facilidad que se les darán a los proveedores de llegar a estos lugares.

#### ➤ **DESDE EL PUNTO DE VISTA OPERATIVO**

La aplicación de este aditivo permitirá reducir los costos de mantenimiento de las vías a nivel de afirmado ya que ampliará su periodo de vida con la consecuente reducción de costos operativos de transporte en el Distrito de Huanchaco.

#### ➤ **JUSTIFICACIÓN ACADEMICA**

Académicamente se justifica, porque se busca ampliar la investigación en el tema de estabilización de suelos evitando usar productos químicos que afectan el medio ambiente, ya que hoy en día en nuestro país se debe generar un desarrollo sostenible.

## **1.4 OBJETIVOS**

### **1.4.1 OBJETIVO GENERAL**

Realizar el Diseño de Mezcla a nivel de afirmado aplicando el aditivo PERMA-ZYME 11X, para 100 m aproximadamente en el tramo de la Via Manco Capac, del Distrito Huanchaco, del año 2021



## 1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar ensayos en laboratorio geotécnicos y de materiales a la muestra mejorada sin aditivo.
- Realizar ensayos en laboratorio geotécnicos y de materiales a la muestra mejorada con aditivo.
- Analizar y comparar los resultados obtenidos.
- Estimar los costos de la solución propuesta.

## 1.5 DEFINIR LA METODOLOGÍA

Cuando la temperatura ambiente sea inferior a 4 ° C o las condiciones indiquen que la temperatura puede descender 1 ° C en 24 horas, no coloque la base tratada con PERMA-ZYME 11X. Asimismo, cuando el lecho de la calzada y / o los agregados pétreos presentan un cierto grado de congelación, no se puede realizar el tratamiento de la capa base.

## 1.6 MARCO TEÓRICO

### 1.6.1 ANTECEDENTES

- (Gutierrez, 2010), en su tesis presentada para optar el título de Ingeniero Civil denominada Estabilización Química de Carreteras No Pavimentadas en el Perú Y Ventajas Comparativas Del Cloruro De Magnesio (Bischofita) Frente Al Cloruro De Calcio, tuvo como objetivo evaluar la inestabilidad del suelo, ya que es uno de los principales problemas provocados por las carreteras sin pavimentar. Para solucionar este problema se utilizan diversas técnicas de estabilización de suelos. Como resultado, menciona que una forma de estabilización del suelo es el uso de productos químicos no tóxicos que pueden hacer que estos suelos (carreteras) tengan un mejor rendimiento

en uso. Por ello, existen varias empresas en el mercado dedicadas a la producción de productos químicos estabilizantes, y estas empresas a su vez intentan incrementar los beneficios de sus respectivos productos y reducir costos si optan por utilizar los productos.

Cuando las empresas productoras y comercializadoras de productos químicos estables comparan las ventajas de utilizar aditivos químicos, cloruro de sodio (sal) y cloruro de magnesio (Bischofite) o cloruro de calcio, suelen destacar las ventajas de Bischofite, pero por este motivo se suele comparar la incidencia de cloruro de sodio y la incidencia de cloruro anticálcico es baja. Con base en este hecho, este trabajo titulado "La estabilidad química de las carreteras sin pavimentar en el Perú y las ventajas comparativas del cloruro de magnesio (Bischofita) y el calcio cloruro". En comparación con el citricidal, tiene ventajas económicas y medioambientales, por lo que el cloruro de calcio es generalmente más ventajoso.

Este antecedente es considerando para la presente investigación ya que los resultados obtenidos nos permiten comprender las ventajas técnicas, económicas y ambientales de los productos químicos estabilizadores y el curso de acción a seguir para elegir una u otra alternativa estabilizadora en los caminos sin pavimentar de la costa peruana.

- (Fuentes, 2013), en su tesis presentada para optar el título de Ingeniero Civil denominada Estabilización De Suelos Mediante El Químico Gt-24x En Suelos De Subrasante De La Ciudad De Concepción, tuvo como objetivo encontrar nuevas tecnologías y nuevos productos que son propicias para un diseño cuidadoso con estándares más altos y rutas terrestres fáciles de mantener.

Las condiciones señaladas han propiciado la investigación de sustancias químicas innovadoras, como aquellas con propiedades enzimáticas, que producen el efecto aglutinante de las partículas de arcilla plástica en el suelo, aumentando así su capacidad de soporte.

Bajo esta premisa, se propuso un desarrollo de investigación experimental para identificar el impacto causado por la adición de GT-24X al suelo ordinario de la calzada a partir del método geomecánico, y utilizarlo como referencia, el valor que experimentan diferentes razones de soporte en los aditivos.

Para lograr el propósito propuesto, se desarrollaron una serie de configuraciones mixtas entre el suelo y GT-24X y en ellas se realizaron todas las pruebas necesarias para determinar el valor CBR.

Este antecedente es considerando para la presente investigación ya que los resultados obtenidos nos permiten comprender que, entre los tipos de arcilla arenosa presentes en este estudio, cuando se agregan productos químicos, tienden a aumentar la tasa de soporte. Por el contrario, en el limo, dado que el valor CBR no aumenta significativamente, no se puede distinguir la función del aditivo.

- (Nazario, 2016), en su tesis presentada para optar el título de Ingeniero Civil denominada Estabilización De Suelos Con Aditivo Permazyme 11x Aplicado A Bases En Suelos Finos Y Granulares Para Pavimentos En El Departamento De Lambayeque, este estudio tuvo como objetivo demostrar que se puede obtener una ventaja al estabilizar suelos con propiedades físicas y mecánicas insuficientes.

Estos suelos son típicos y se encuentran frecuentemente en diferentes regiones del país, por lo que han despertado muchas expectativas en ingeniería porque son la base de la estructura del pavimento. Por lo tanto, se analiza un conjunto de propiedades físicas y mecánicas del suelo, y luego se forma una mezcla, y se ajustan y utilizan diferentes estabilizadores en el área o área afectada. En la prueba de laboratorio se determinó que los datos iniciales para su posterior comparación con los resultados obtenidos de una mezcla estable (permazyme)".

La determinación de la relación óptima de estabilizador es el resultado de varias pruebas, y su análisis y resultados pueden obtener la cantidad correcta para cada situación. Al mismo tiempo, también se pretende demostrar que el uso de la adición permanente de la enzima 11x nos permitirá minimizar el costo y lograr una mejor estructura del pavimento sin afectar su forma estructural.

En definitiva, la investigación realizada nos permitirá obtener una mejor capacidad portante de los materiales a utilizar, reducir los espesores y optimizar los gastos innecesarios, lo que es muy beneficioso para nuestra zona de Lambayeque.

- (Rodríguez, 2008), en su tesis presentada para optar el título de Ingeniero Civil denominada Mejoramiento de la base y sub base en Pavimento con Aditivo Permazyme 11x suelo estabilizado con Productos Químicos Y Compuestos Multienzimáticos Orgánicos, tuvo como objetivo construir una capa que consiste en materiales completamente agregados o materiales creados a partir de la escarificación en capas superficiales existentes o una mezcla de ambos, y estabilizarlos con compuestos orgánicos multienzimáticos de acuerdo con las instrucciones y el contenido de estas especificaciones definido en el proyecto. Las consideraciones ambientales se refieren a la protección del medio ambiente durante la construcción de la capa hecha de materiales adicionales.

Como resultado del uso de aditivos PERMAZYME 11X, se obtuvo que puede compactar y estabilizar efectivamente el suelo, y también ha logrado un gran éxito en otros países / regiones, extendiendo así la vida útil y reduciendo la frecuencia de mantenimiento. A medio y largo plazo, es una solución económica competitiva que proporciona una mejor superficie de rodadura.

En Estados Unidos (desde Alaska hasta Arizona) y otros países / regiones como China, Rusia, Europa y Argentina, este aditivo se ha utilizado durante miles de kilómetros.

En Perú, se ha utilizado en la vía Huanchaco-Santiago de Cao (Fecha: agosto 2008) - (La Libertad). Sobre la base de la experiencia de PERMAZYME 11X en diferentes dispositivos de estabilización, se presentan algunas sugerencias relevantes.

- Realizar los ensayos de laboratorio necesario, para el diseño y para la construcción. Asimismo, realizar ensayos de humedad de agua antes de aplicar el aditivo.
- Es mejor no trabajar en condiciones de lluvia, porque si el suelo se desintegra, absorberá más agua de la necesaria, y el exceso de agua debe eliminarse antes de usar PERMAZYME 11X.
- Es importante conocer la cantidad de suelo a procesar en un día para coordinar la maquinaria, la cantidad de agua, el volumen de PERMAZYME 11X, etc.
- Se recomienda no vibrar durante la primera pasada de compactación y luego vibrar en cada capa estable. Si es posible, para obtener mejores resultados, el suelo debe intentar lograr un tamaño de partícula o gradación similar a la de la matriz granular.

Este antecedente es considerando para la presente investigación ya que resalta la importancia de la aplicación de este aditivo en las capas de cualquier estructura de pavimento para mejorar las propiedades físicas y químicas.

- (Rodríguez, 2013), en su tesis presentada para optar el título de Ingeniero Civil denominada Análisis De Pavimento Asfáltico Modificado, sabiendo que la mezcla asfáltica es la capa de rodadura en los pavimentos flexibles, y considerando que es uno de los sustitutos más utilizados en la construcción de infraestructura vial, tuvo como objetivo la investigación sobre la producción de nuevas materias primas, y que a la vez ha despertado un gran

interés. Mejorar las propiedades físicas y mecánicas, cooperar con la reducción del uso de reservas fósiles y optimizar su producción; los principales fabricantes de mezclas asfálticas, investigadores y administradores de infraestructura vial recomiendan la investigación y desarrollo del diseño de mezclas asfálticas, incluyendo una recolección de diferentes tipos de residuos, de hecho, estos compuestos pueden proporcionar una calidad aceptable en las condiciones finales de la capa de la banda de rodadura, así que ¿por qué no mejorarlos?

Al revisar diferentes fuentes de información, se descubrió que los residuos de llantas se utilizaban como una nueva fuente de materias primas, lo que despertó el interés de las personas como sustituto de la producción en la región.

Este antecedente es considerando para la presente investigación ya que resalta la importancia de la producción de nuevas materias primas, tanto para mejorar las propiedades físicas como las mecánicas de las capas de rodaduras.

### **1.6.2 RESISTENCIA DEL SUELO**

Para esta parte nos referiremos a las definiciones de la tesis presentada por (Vilcas, 2018):

“Las técnicas utilizadas para la mejora del suelo incluyen cambiar las propiedades del suelo a través de la acción física (como la vibración) o la inclusión de una mezcla de suelo y sustancias más resistentes en el suelo”. Con el propósito de:

- Incrementar la capacidad y / o resistencia de corte
- Reducir los asentamientos y los asentamientos pobres, y celerar los asentamientos cuando se produzcan
- Reducir o eliminar el riesgo de licuefacción durante terremotos o vibraciones severas

Los campos de aplicación de las diferentes tecnologías dependen principalmente de la naturaleza y granulometría del terreno a mejorar.

El problema de la ingeniería vial en suelos blandos ha dado lugar a diversos estudios sobre el tema en todo el mundo. Actualmente, existen diversas tecnologías conocidas para mejorar las propiedades físicas y mecánicas de este tipo de suelos, especialmente su resistencia, sus parámetros de deformación, impermeabilidad, etc., para poder trabajar con ellos sin sustitución completa.

En el trabajo actual, estas tecnologías serán abordadas con el propósito de tener un conocimiento general sobre ellas, para permitir la decisión de usarlas en una situación específica y realizar posibles análisis de variantes.

## **A. INTRODUCCIÓN**

Un problema común es que los asentamientos importantes en la estructura de carreteras o edificios industriales o terraplenes se basan en suelos cohesivos blandos y muy blandos (arcilla y limo saturado).

En este caso, el proceso de asentamiento puede llevar varios años, lo que naturalmente hace que el trabajo complicado o relacionado sea imposible de completar en un tiempo razonable.

En el pasado, básicamente se utilizaron dos métodos alternativos para resolver este problema geotécnico: reemplazar el suelo o remover arena (o pilotes). Aunque la primera solución está limitada por el tamaño del volumen que se va a cambiar, la segunda solución es un método costoso y que requiere mucho tiempo en un área grande.

En los últimos años se han desarrollado varias técnicas de mejora de suelos para nivelación de carreteras, cimentaciones de edificios, construcción de túneles, etc. Se enumeran y estudian los siguientes métodos generales:

- Compactación profunda mediante Vibro Flotación y Vibro Sustitución de Suelos (columnas de grava)
- Las Inyecciones a los Suelos (Jet-Grouting. e Inyecciones de Compensación.)
- Sistema de Pantallas.
- Compactación Dinámica.
- Sistema de drenaje vertical mediante Mechas Drenantes.

Las técnicas de mejora del suelo incluyen cambiar las características del suelo a través de una acción física (por ejemplo, vibración) o mediante la inclusión de una mezcla de materiales más resistentes en el suelo para:

- Aumentar la capacidad y/o la resistencia al corte y la respuesta esfuerzo-deformación.
- Disminuir los asentamientos, tanto absolutos como diferenciales, y acelerarlos cuando sucedan.
- Disminuir o eliminar el riesgo de licuefacción en caso de terremoto o de vibraciones importantes.
- Igualmente se busca que no sea susceptible al agrietamiento, mejorar su resistencia a la erosión y, en casos específicos se procura disminuir su permeabilidad.

Los campos de aplicación de las diferentes tecnologías dependen principalmente de la naturaleza y granulometría del terreno a mejorar.

## B. DESARROLLO

Compactación profunda mediante Vibro Flotación y Vibro Sustitución de Suelos (columnas de grava).

**Vibroflotación:** En esta técnica se utiliza una sonda de gran tamaño o vibroflot, que está constituido por un tubo cilíndrico por el que se inyectan abonos de agua en su parte superior e inferior y está dotada de pesas que giran excéntricamente para provocar un movimiento vibratorio en el plano



horizontal. La sonda tiene unos 40 cm de diámetro, 2 metros de largo y una masa de alrededor de 2 toneladas. El equipo vibrador puede colgarse desde una grúa grandes profundidades o montarse sobre equipos neumáticos (camionetas, tractor) a menores profundidades.

### **Ventajas:**

- A diferencia de la compactación dinámica, la vibroflotación funciona bien en caso de napas altas.
- El plazo de ejecución es mucho más breve que cualquier otro método de mejora del suelo.
- No es necesario realizar cambios de suelos con los inconvenientes ambientales que ello implica.

**Vibro sustitución:** En esta técnica, se utiliza una gran sonda o campo vibratorio. La sonda o campo vibratorio consiste en un tubo cilíndrico a través del cual se inyecta agua y fertilizante en sus partes superior e inferior, y está equipado con una rotación excéntrica para provocar vibraciones en el plano contrapeso. La sonda tiene un diámetro de aproximadamente 40 cm, una longitud de 2 metros y una masa de aproximadamente 2 toneladas. El equipo de vibración se puede izar desde una grúa a una profundidad profunda, o se puede instalar en un equipo neumático (camión, tractor) con poca profundidad.

### **Ventajas:**

- Reduce asentamiento de las cimentaciones.
- Incrementa la capacidad portante, permitiendo reducir las dimensiones de fundaciones superficiales.
- Mitiga el potencial a la licuefacción

- Estabiliza taludes
- Permite construir sobre rellenos
- Permite todo tipo de fundaciones superficiales
- Elimina "Lateral Spread" sismo inducido

Para esta parte nos referiremos a las definiciones del libro “Mejoramiento y estabilización de Suelos” de Carlos F. (1992):

### **Construcción de Columnas de Piedra.**

"Los dos métodos para construir pilares de piedra vibrantes son: Método húmedo, alimentación desde arriba (alternativa): en esta técnica, se utiliza un jet de agua para eliminar los materiales blandos, estabilizar las perforaciones y asegurar que el material de relleno llegue al fondo de la punta del vibrador. El método de secado utiliza aire ".

### **Construcción de Columnas de Balasto**

La técnica de las columnas balastadas es una extensión de la tecnología de flotación vibratoria, extendida al suelo que contiene capas de limo o arcilla, y sus elementos pueden cambiarse por vibración. Las columnas balastadas pueden tratar estos suelos incorporando materiales granulares que se compactan en etapas (comúnmente llamado balasto). Estos pilares también pueden estar hechos de mortero o cemento.

### **Las Inyecciones a los Suelos (Jet-Grouting. e Inyecciones de Compensación)**

La inyección generalmente incluye un conjunto de operaciones necesarias para rellenar huecos o grietas que no se pueden alcanzar en el suelo. Su principal finalidad es mejorar las propiedades mecánicas del suelo (aumentar la resistencia, reducir la deformabilidad, etc.) y reducir la

permeabilidad.

### **Objetivos de las inyecciones:**

1. Consolidación y sellado en suelo y rocas (muy útil en zonas cársticas).
2. Hacer pantallas impermeables para las cortinas de las presas de contención de tierra.
3. Se puede usar lechada de cemento de alta permeabilidad y soporte de cemento Portland para calzar y fortalecer los cimientos del edificio.
4. Use lechadas especiales para rellenar huecos y cuevas (muy útil en áreas cársticas) Estas lechadas también pueden sellar grietas, mejorar la impermeabilidad, fijar la cal libre y aumentar la resistencia al cizallamiento del suelo.
5. La inyección especial puede lograr el sellado térmico y prevenir la contaminación química o radiactiva.

El método Jet Grouting incluye la descomposición del suelo (o roca suelta), mezcla y reemplazo parcial de agentes cementante (generalmente cemento). La descomposición se logra mediante un fluido de alta energía, que puede incluir el propio cemento. Tiene múltiples aplicaciones (mejoramiento de terrenos, impermeabilizaciones, túneles, etc.), y el fluido de perforación también es variable (cemento, bentonita, mezclas químicas).

**Las Inyecciones de Compensación:** Se trata de un tipo especial de inyección de sustancias aglutinantes en el suelo. Se suelen utilizar para evitar el asentamiento y la deformación provocados por la presión ejercida por los cimientos del edificio y la presión activa del suelo que sostiene el muro de contención, mediante la inyección de materiales que generará presión y pequeños movimientos controlables para contrarrestar la sedimentación y deformación del material.

Son muy utilizados en la construcción de túneles en zonas urbanas, especialmente zonas sensibles, y para el refuerzo de muros de contención.

### **Realización de una inyección de compensación en muros verticales:**

#### **Sistema de Pantallas**

Las pantallas insertadas en los suelos pueden tener dos propósitos diferentes:

- Impermeables o de impermeabilización
- Drenantes

Según las definiciones del libro “Foundation Engineering” de Leonards (1962), “Los materiales más utilizados en estas pantallas impermeables incluyen: hormigón hidráulico de consistencia plástica, placas de polietileno expandido de alta densidad (PEAD) y una mezcla de bentonita y cemento Portland. Las Pantallas Drenantes consisten en, una vez excavada de antemano, la rejilla de drenaje incluirá materiales filtrantes, como grava y arena, para permitir el paso del agua, pero de forma controlada.”. Esta técnica se emplea en:

- Estabilización de laderas y suelos inestables.
- Captación de agua.
- Para rebajamiento o disminución del nivel freático

#### **Pantallas atirantadas:**

Un sistema de muro cortina diagonal (muro clavado en el suelo) es un método que se utiliza para fortalecer el suelo en pendientes y fosas de cimentación. Es una estructura fija en la que se instalan varillas perforadas en el suelo a intervalos relativamente cortos. Las varillas generalmente no

están tensadas, pero están conectadas al hormigón proyectado o al revestimiento fundido in situ a través de la losa.

### **Compactación Dinámica:**

La compactación dinámica (C.D.) es una técnica cuya finalidad es mejorar las propiedades mecánicas del suelo densificándolo y aumentando su capacidad portante. Esta densificación se produce debido a la compresión de muy alta energía y las ondas de corte. Esta tecnología fue desarrollada por L. MENARD en 1969.

### **Compactación dinámica (fotografía de Menard):**

La técnica consiste en dejar caer un martillo muy pesado sobre un piso granular suelto o un suelo adhesivo blando para aumentar su densidad. Para levantar el martillo (generalmente con una masa entre 6 y 10 toneladas), se usa una grúa o un trípode para bajar el martillo desde una altura de 30 metros o más. Se puede esperar razonablemente que un martillo con una masa de 40 toneladas y una altura de caída de 30 metros aumente significativamente la densidad cuando descienda de 15 a 20 metros (Leonard et al., 1980).

El impacto de la caída del martillo formó un cráter en el suelo y emitió una violenta onda de choque que penetró el suelo y provocó la succión de líquido al suelo granular, que luego se densificó. En suelos cohesivos, los impactos pueden generar altas presiones de poros, que luego pueden consolidarse. La existencia de grietas contribuye a la rápida disipación de la presión intersticial y, por tanto, ayuda a una rápida consolidación.

Según las definiciones del libro “Foundation Engineering” de Leonards (1962):

### **Masa usada para la compactación**

### **Sistema de drenaje vertical mediante Mechas Drenantes**

En la década de 1930, el concepto de mechas de drenaje se desarrolló en Suecia y su velocidad de instalación se incrementó considerablemente, lo que ahorró costos y acortó el tiempo, que no tiene comparación con los productos alternativos existentes.

En la práctica, las mechas de drenaje se utilizan para situaciones de refuerzo donde el suelo a tratar es de moderada a muy compresible, tiene un bajo coeficiente de permeabilidad y está completamente saturado en su estado natural. Este suelo se describe generalmente como limo, arcilla, limo y arcilla orgánica, turba y fangos. Las mechas de drenaje es un material geocompuesto que se instala verticalmente por hincado en suelo arcilloso blando, tiene la función de filtrar las partículas del suelo, drenar el agua y acelerar el proceso de consolidación, reduciendo significativamente el tiempo de asentamiento del terraplén en suelo blando. En el proceso, el suelo también mejora su resistencia al corte.

### **Esquema de ejecución de las mechas drenantes**

Características principales de las mechas drenantes:

Son fajas de material sintético (plástico o textil) producidas industrialmente en rollos (ver Tabla 18), con una sección transversal rectangular, de unos 10 cm de ancho, 3 o 4 mm de espesor, tiene estructura de nido de abeja y está equipado con perforaciones de muy pequeño diámetro, lo que lo hace permeable y listo para funcionar, alcanzando una profundidad de más de 40 m. El ancho más común de estas mechas es de 10 cm. Por lo general, el espacio entre ellos es de aproximadamente 10 diámetros equivalentes.

En comparación con los drenes verticales tradicional, las mechas de drenaje tienen las siguientes ventajas importantes:

1. Elevada capacidad de evacuación de agua.
2. Permeabilidad alta y conocida de antemano.

3. Se logra buena resistencia mecánica en el suelo tratado.
4. Mayor limpieza y rapidez o rendimiento en su realización.
5. Posibilidad de alcanzar grandes profundidades (hasta los 50 m.)

### **Proyecto de un Vial, en Viet Nam.**

Este trabajo proporciona ejemplos prácticos del uso de determinadas técnicas de mejora del suelo: los pozos de arena y mechas de drenaje o filtro, que se utilizan para la consolidación. Las fotos que se muestran a continuación pertenecen a la autopista Ho Chi Minh City-Louang City, construida en Vietnam de 2005 a 2010. Tiene una longitud total de 64 kilómetros, una velocidad de diseño de 120 km / h y un precio de construcción y montaje de US \$ 980 millones, incluido un viaducto de hormigón armado de 15 kilómetros de largo. El suelo de este lugar es muy limoso.

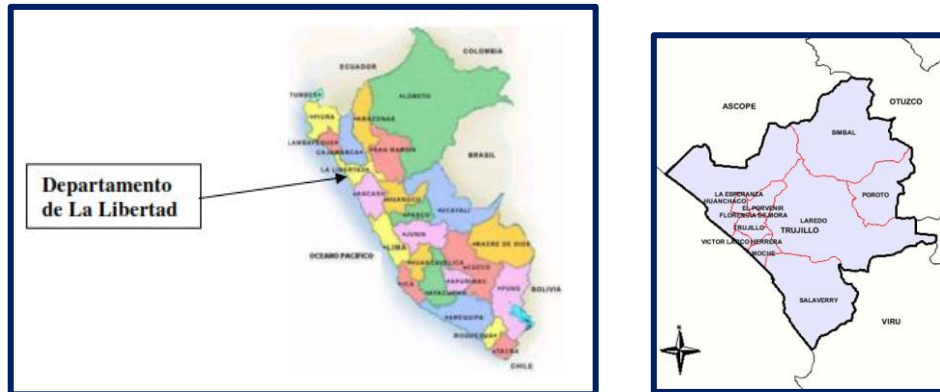
## **C. CONCLUSIÓN**

Las tecnologías de mejoramiento de suelos se han aplicado en todo el mundo porque pueden convertir suelos con malas propiedades mecánicas (utilizados como material básico para carreteras u otros proyectos básicos) en excelentes materiales; tienen alta resistencia al corte y pueden usarse a corto plazo y reducir deformaciones o acelerarlo en el tiempo. En la ingeniería de áreas de suelo no designadas, estas tecnologías pueden evitar la excavación y reducir la cantidad de movimiento de tierra, reduciendo así los costos de ingeniería. Dado que la tecnología suele ser muy moderna, siempre se debe evaluar el costo de la tecnología utilizada, la disponibilidad de los equipos y materiales necesarios.

### **1.6.3 LOCALIZACIÓN**

Según la enciclopedia libre Wikipedia (2019), El tramo de Vía Manco Capac-Víctor Raúl se ubica en el distrito de Huanchaco, provincia de Trujillo, en el

departamento de La Libertad.



**Figura 1: Localización del Distrito de Huanchaco**

#### 1.6.4 CONDICION CLIMÁTICA Y ALTITUD

Según el portal de información turística Conocer (2015), En Hunchaco, el verano es corto, caluroso, bochornoso y nublado. El invierno es largo, fresco, mayormente soleado y seco durante todo el año.

Durante este año, la temperatura suele estar en el rango de  $16^{\circ}\text{C}$  a  $25^{\circ}\text{C}$ , y rara vez desciende por debajo de los  $15^{\circ}\text{C}$  o sube por encima de los  $28^{\circ}\text{C}$ . La elevación promedio del área de estudio es de 23 m.s.n.m.

#### 1.6.5 ACCESO AL ÁREA

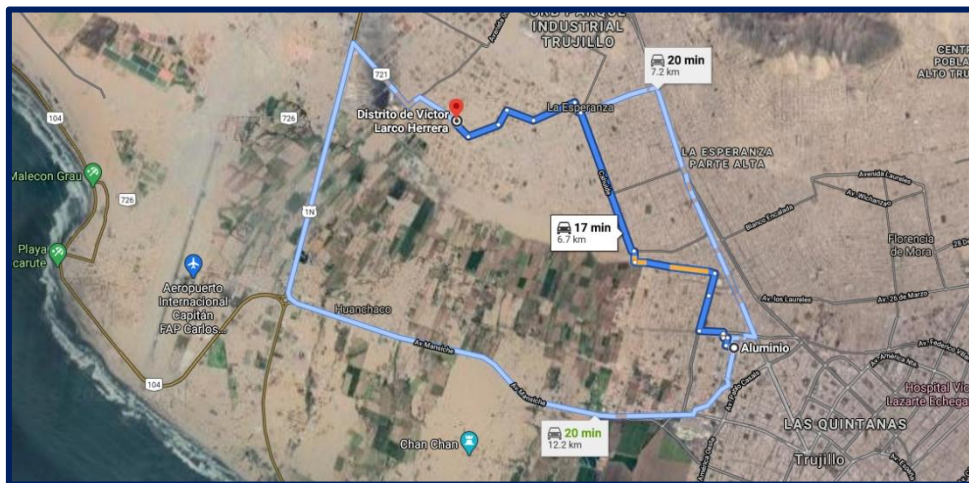
El terreno de estudio se encuentra ubicada en el Vía Manco Capac – Víctor Raúl del Distrito de Huanchaco, Provincia de Trujillo, Departamento La Libertad. El tiempo de recorrido en automóvil es de aproximadamente de 17 minutos a través de vía asfaltada desde San Isidro - Trujillo hasta la Vía Manco Capac – Víctor Raúl.



**Tabla 1: Vías De Acceso A La Via Manco Capac – Victor Raul**

RECORRIDO (Desde – Hasta)	DISTANCIA (Km.)	TIEMPO (hrs.)	TIPO DE CARRETERA
Trujillo (San Isidro, Calle Aluminio) – Huanchaco (Vía Manco Capac)	<b>6.7</b>	<b>17 minutos</b>	Asfalto

Fuente: Google Earth Maps. 2020



**Figura 2: Ubicación del Distrito de Huanchaco – Google Earth**

### 1.6.6 PERMA-ZYME 11X

Según la reseña presentada en el libro “Mecánica de suelos” de Peter L. (1993), PERMA-ZYME 11X tiene una buena estabilidad del suelo, lo cual es muy beneficioso para la construcción de carreteras y puede reducir los costos de reparación y mantenimiento. PERMA-ZYME 11X es una fórmula líquida y concentrada multienzimática patentada diseñada para maximizar la

compactación y aumentar las características naturales del suelo al mejor nivel y condiciones, y los resultados son muy superiores a los productos que se utilizan actualmente. Después de años de desarrollo práctico y pruebas, PERMA-ZYME 11X no es tóxico y es seguro para el medio ambiente, lo que aporta más beneficios a los constructores de carreteras, las comunidades y el medio ambiente ecológico. Las enzimas son compuestos orgánicos naturales similares a proteínas que actúan como catalizadores. Su estructura macromolecular contiene elementos activos que facilitan el enlace y la interacción molecular.

El aditivo PERMA-ZYME 11X mejora el efecto humectante del agua, permitiendo que el agua penetre mejor, ayudando así a la compactación y obteniendo una mayor densidad del suelo. PERMA-ZYME 11X acelera la cohesión de las partículas del suelo, formando una capa firme, densa y permanente que puede resistir la penetración del agua, la intemperie y el transporte. Se puede esperar que el porcentaje de compactación sea un 20% más alto que el de los métodos de construcción de carreteras ordinarios. PERMA-ZYME 11X tiene beneficios económicos porque reduce tanto los costos de construcción como los costos de mantenimiento. Dado que PERMA-ZYME 11X utiliza finos viscosos no granulares como adhesivos, el sustrato a utilizar debe tener un mayor contenido de finos. Esto permite el uso de materiales de menor costo, e incluso el uso de materiales existentes en ciertas carreteras.

Debido a que la capa base tratada con PERMA-ZYME 11X tiene una permeabilidad menor que la capa base tradicional, puede reducir significativamente el costo de mantenimiento, y la capa base presenta una superficie al aumentar la densidad del suelo, lo cual es efectivo contra el lavado y la erosión. de partículas finas Mayor resistencia.

### **1.6.7 ESTABILIZACIÓN EN CAMINOS DE TRÁFICO PESADO**

Para esta parte nos referiremos a las definiciones del libro “Especificaciones Generales para la construcción de Caminos y Puentes” (2002):

Los caminos mineros interiores generalmente se construyen en superficies de terrenos, que contienen materiales con una amplia gama de tamaños de partículas, y el alto contenido de finos que pasan a través del tamiz No. 200 a menudo causa problemas de estabilidad. PERMA-ZYME 11X los une eficazmente con materiales más grandes, produciendo una capa muy densa que no se puede obtener sin PERMA-ZYME 11X. Las carreteras tratadas con PERMA-ZYME 11X tienen una mayor eficacia y respuesta a la penetración del agua, lo que puede garantizar carreteras de mayor calidad con un mantenimiento mínimo. Generalmente, en carreteras con tráfico de camiones, se deben considerar dos o más bases tratadas.

### **1.6.8 CONSTRUCCIÓN DE UN CAMINO O VÍA**

Solo se necesita un litro de PERMA-ZYME 11X para procesar 30 m<sup>3</sup> o 33 m<sup>3</sup> de materiales compactos; agréguelo al agua requerida en el tanque, luego aplíquelo al material en forma de riego, luego mezcle, pavimente y compacte. La cantidad de agua que se diluirá en PERMA-ZYME 11X depende de las condiciones del suelo a tratar y su humedad de compactación óptima. La construcción de la carretera se deberá efectuar en capas que excedan los 30 cm y depende de la maquinaria utilizada para la compactación. Se recomienda utilizar una capa de al menos 15 cm para obtener el mejor efecto de compactación. Se debe prestar especial atención al contenido de humedad y al método de mezcla para que PERMA-ZYME 11X se distribuya uniformemente en el material de la carretera.

En cualquier caso, si solo se requiere una sola capa estabilizada, debe ser de al menos 17 cm. PERMA-ZYME 11X también se utiliza para sellar el sustrato granular en la vía terciaria para controlar la pérdida de finos. Use 1.0 parte de

la solución PERMA-ZYME 11X por 10,000 partes de agua. Este tratamiento es muy eficaz para reducir el fino en suspensión generado por el tráfico de vehículos, evitando así la gran cantidad de agua que suele requerirse para tratar y controlar temporalmente el problema.

### ➤ **CARACTERISTICAS**

PERMA-ZYME 11X es un producto altamente concentrado.

PERMA-ZYME 11X es un producto formulado con base a enzimas de origen orgánico que utilizan el agua como medio de aplicación.

PERMA-ZYME 11X no es tóxico ni inflamable, tampoco afecta la salud.

VIDA UTIL – 3 años, si es mantenido a temperaturas inferiores a 45° c; si el producto es congelado no sufre alteración.

### **1.6.9 ESTUDIOS DE LABORATORIO**

Según las definiciones del Manual de Laboratorio de suelos para Ingeniería Civil de Bowles J. (1980): A través de la investigación del suelo, se pueden comprender las propiedades físicas y mecánicas del suelo, a saber, la humedad, la profundidad, el tipo de cimentación más adecuada para la obra a construir y el asentamiento estructural en relación con el peso que va a soportar.

Mucha gente pensaría que construir una casa o una casa es solo una cuestión de elegir el terreno y dejar que la empresa de materiales y construcción se encargue de hacer realidad los sueños de una persona o familia. Sin embargo, antes de realizar cualquier trabajo, hay un estudio que no se puede ignorar.

Un estudio de suelos nos permite comprender las características físicas y geológicas del suelo desde la secuencia litológica, las diferentes capas y su espesor, la profundidad del nivel freático hasta la resistencia del suelo o de las rocas. También nos permite conocer el tipo de cimentación más adecuado al

tipo de obra a construir, así como los montajes estructurales relacionados con el peso que soporta.

La realización de esta investigación es muy importante para evitar problemas durante el proceso de construcción o al final de la obra. Un ejemplo obvio de estos fracasos es la Torre Inclinada de Pisa en Italia. La torre se construyó en posición vertical desde el principio, pero una falla de ingeniería hizo que se inclinara. La razón se llama suelo débil e inestable, y base insuficiente para soportar peso y altura. Se puede decir que esto sigue siendo un milagro. Como todos sabemos, durante muchos años se les ha negado el contacto con el público por temor al colapso. Sin embargo, todavía está abierto hoy.

Otro ejemplo reciente es el colapso del edificio de Málaga en Bolivia el año pasado. La obra que aún estaba en construcción se derrumbó provocando muchas muertes. La razón aún es incierta, pero la principal sospecha es que apunta a problemas de suelo y errores de cálculo.

La empresa constructora es responsable de realizar la investigación del suelo por adelantado. Además de afectar directamente el procedimiento o el material que se utilizará, también puede prevenir tragedias o accidentes.

#### **1.6.10 DISTINTOS TIPOS DE SUELO**

Para esta parte nos referiremos a la reseña presentada por Gabriel M. (1982):

Los expertos en investigación de suelos no están de acuerdo si se trata de un suelo malo o bueno. Dirán que hay un suelo que es más apto para la construcción que otros suelos, y también dirán que se puede construir sobre cualquier tipo de suelo.

Sin embargo, está claro que construir en suelos pobres (o menos adecuados) será más difícil y requerirá sistemas de cimentación más complejos y costosos.

Eso significa (quiero decir) que hay buena tierra y mala tierra (incluso si el

experto está enojado). En términos generales, podemos decir que hay dos tipos principales de suelo:

➤ **Los Suelos Granulares (Suelos Buenos)**

Son suelos compuestos de grava y arena. Este material puede estar compuesto por partículas de piedra muy pequeñas (pero se pueden ver a simple vista) y se pueden encontrar piedras y bolones.

Este tipo de suelo es duro y no aumenta las ondas sísmicas. También son suelos muy resistentes que pueden soportar las cargas que se deben soportar.

➤ **Los Suelos Finos (Suelos Malos)**

Este tipo de suelo está compuesto por arcilla y limo, que son partículas muy pequeñas (tipo polvo), aunque tienen buena cohesión, cambian mucho al entrar en contacto con el agua. Por tanto, su resistencia depende de la humedad a la que estén expuestos. Por eso no son el mejor suelo para la construcción de cimientos. Una variable muy importante a considerar (como lo muestra la investigación del suelo) es conocer la presencia y profundidad de las masas de agua subterránea.

Los cuerpos de agua subterránea pueden afectar y cambiar el comportamiento de ciertos tipos de suelo.

En resumen, podemos decir que es mejor construir sobre pisos resistentes al desgaste que cumplan con todas (o la mayoría) de las condiciones descritas en la siguiente tabla.

**Tabla 2: Tipos de suelo (Bueno y malo) – Características**

Criterio utilizado	Suelo Bueno	Suelo malo
	Adecuado para construir	No apto para construir
Granulometría/textura	Gruesas	Finas
Color del suelo	Gris	Rojo, amarillo, blanco.
Forma de las partículas	Angulosas	Redondeadas
Peso unitario	Pesado	Liviano
Granulometría	Varios tamaños	Homogéneo
Preconsolidación	Compacto y firme	Blando o suelto
Nivel freático	Sin agua o profunda	Superficial
Plasticidad	No plástico	Plástico
Expansión	No expansivo	Expansivo
Dispersión	No dispersivo	Dispersivo
Colapsable	Estable	Colapsable
Material orgánico	Sin material orgánico	Con material orgánico

### 1.6.11 ¿PARA QUÉ SIRVE UN ESTUDIO DE SUELO?

Según los fundamentos de Ingeniería Geotécnica de Braja M. (2011):

El Estudio de Suelo tiene una función muy práctica y te permitirá conocer:

- Está considerando las propiedades físicas, químicas y mecánicas del suelo sobre el que está construida la casa.
- La ubicación del cuerpo de agua (nivel del agua) (si lo hubiera).
- Las fundaciones se deben hacer a una cierta profundidad. (Nivel de fundación).
- Planifique el diseño, cálculo y uso de los cimientos de la casa. Lo que he visto es que cuando los constructores no comprenden completamente las propiedades del suelo, son guiados por sus vecinos en cuanto al tipo de

cimentación a construir. Por lo general, (como máximo) diseñarán y construirán cimientos muy grandes. Como resultado, gastaron mucho dinero para construir una base más grande de la que realmente necesitaban.

- Dependiendo del tipo de suelo, el costo de la cimentación puede ser un costo muy alto del proyecto. Por lo tanto, se recomienda que sepa exactamente qué tipo de suelo tiene y luego haga un cálculo preciso de la base requerida.

### 1.6.12 ¿CÓMO SE HACE UN ESTUDIO DE SUELO?

Según el libro de Mecánica de Suelos en la Ingeniería Práctica de Kart T. y Robert V. (1972): el estudio de suelo se caracteriza por tener 3 etapas claramente definidas:

- Trabajo de Terreno
- Trabajo de Laboratorio
- Redacción del Informe Final

#### A. TRABAJO DE TERRENO

En esta primera etapa es donde se inspecciona y toman las muestras de terreno, las que luego irán al laboratorio.

En esta etapa se utilizar, por lo general, las siguientes técnicas:

##### ➤ CALICATA

Incluye excavaciones de pequeña o mediana profundidad en lugares seleccionados del suelo.

La idea de la calicata es comprender directamente la tierra que generalmente nunca antes habíamos visto para su caracterización y análisis.



Por lo general, se usa una pala o una retroexcavadora para cavar la calicata.

### ➤ **PENETRÓMETRO**

Esta es una prueba de penetración del suelo. Consisten en introducir en el suelo un elemento de penetración generalmente de forma cónica, cuyo elemento de penetración se fija habitualmente a la varilla.

Impulsado por golpear un martillo con un peso determinado, contando el número de golpes que se le debe dar a la varilla para que penetre a 20 cm del suelo, para obtener la llamada columna de golpes; es decir, cuántos golpes se necesitan para perforar 20 cm al bajar el nivel.

Esta tecnología solo nos permite conocer la resistencia del suelo a distintas profundidades, pero no aporta información sobre su naturaleza.

### ➤ **SONDEOS**

Esta técnica consiste en perforar agujeros en el suelo con una sonda cilíndrica que extrae gradualmente las partes atrapadas en el cilindro.

Después de sacar las muestras, se colocarán en la caja de muestras en orden de profundidad.

El propósito de esta prueba es determinar el tipo de suelo a diferentes profundidades, detectar la presencia de agua (si la hubiera) y determinar el Nivel Freático.

## **B. TRABAJO DE LABORATORIO**

Una vez hecho el trabajo en terrenos, las muestras son llevadas al laboratorio para realizar los ensayos correspondientes.

Algunos tipos de ensayos básicos son:

### ➤ ANÁLISIS QUÍMICO

El propósito de esta prueba es detectar la presencia de componentes químicos en el suelo.

Lo que se busca es la presencia de sulfato, cloro y la acidez del suelo analizado, pues estos elementos determinarán las características del hormigón utilizado para la cimentación.

### ➤ CARACTERIZACIÓN

La prueba tiene como objetivo determinar el tamaño de grano (granulometría) de la tierra.

Es decir, el porcentaje de agregados de diferentes tamaños en el suelo, plasticidad, densidad aparente y real, y otras características básicas de la composición del suelo.

### ➤ ENSAYOS MECÁNICOS

El propósito es conocer la resistencia y rigidez del material del piso.

Esta es una prueba de compresión simple, una prueba de cizallamiento directo y algunas otras pruebas, nos dirán cuáles son las propiedades mecánicas del suelo. Estas pruebas generalmente se realizan en materiales cohesivos (arcilla) y rara vez en suelo granular (buen suelo).

## C. REDACCIÓN DEL INFORME FINAL

Este informe es el documento técnico final que debe presentar a la autoridad competente. Por lo general, está escrito y firmado por profesionales autorizados, como geólogos e ingenieros civiles. El informe contiene toda

la información recopilada, los parámetros más importantes y el diagnóstico sobre el comportamiento del terreno. La parte más importante del informe final es la recomendación sobre qué tipo de cimentación / cuál es más conveniente.

## 1.7 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

### ➤ DISEÑO DE MEZCLA

El diseño de mezcla de afirmado es una mezcla de tres tamaños o tipos de material: piedra, arena y finos o arcilla. Si no existe una buena combinación de estos tres tamaños, el afirmado será pobre. El afirmado requiere de un porcentaje de piedra para soportar las cargas, así mismo necesita un porcentaje de arena clasificada según tamaño para llenar los vacíos entre las piedras y dar estabilidad a la capa; y, obligatoriamente un porcentaje de finos plásticos para cohesionar los materiales de la capa de afirmado.

### ➤ AFIRMADO

El afirmado consiste en una capa compactada de material granular natural o procesada, con gradación específica que soporta directamente las cargas y esfuerzos del tránsito. Debe de poseer la cantidad apropiada del material fino cohesivo que permita mantener aglutinadas las partículas. Funciona como superficie de rodadura en caminos y carreteras no pavimentadas.

### ➤ ADITIVO PERMA-ZYME 11X

PERMA-ZYME 11X produce una estabilidad de los suelos que resulta muy ventajosa para la construcción de caminos, reduciendo sus costos de reparación y mantenimiento.

### ➤ DISTRITO DE HUANCHACO

Vía Manco Capac del Centro Poblado de Víctor Raúl, Distrito Huanchaco.

## 1.8 FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS

Se realizará el diseño de mezcla a nivel de afirmado aplicando el aditivo Perma-zyme 11X al tramo de vía Manco Capac – Victor Raúl, con la finalidad de incrementar la resistencia del suelo para la transitabilidad de los vehículos, la intención es mejorar algunas características físico-mecánicas al momento de trabajar con el estabilizante; tomando en cuenta los ensayos de mecánica de suelos realizados en el laboratorio.

¿Cuál es el diseño de mezcla a nivel de afirmado aplicando el aditivo Perma-zyme 11X, en el Distrito de Huanchaco en el año 2021?

**Tabla 3: Planteamiento de la Hipótesis**

HIPÓTESIS GENERAL	COMPONENTES METODOLÓGICOS			COMPONENTES REFERENCIALES	
Se realizará el diseño de mezcla a nivel de afirmado aplicando el aditivo Perma-zyme 11X al tramo de vía Manco Capac – Victor Raúl, con la finalidad de incrementar la resistencia del suelo para la transitabilidad de los vehículos, la intención es mejorar algunas características físico-mecánicas al momento de trabajar con el estabilizante; tomando en cuenta los ensayos de mecánica de suelos realizados en el laboratorio.	Variables	Unidad de análisis	Conectores lógicos	El espacio	El tiempo
	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Diseño</li> <li>2. Costos</li> </ol>	Aditivo PERMA-ZYME 11X	Mejora	Distrito de Huanchaco	2021

## II. CAPÍTULO II: MATERIALES Y METODOLOGÍA

### 2.1 VARIABLES Y OPERACIONALIZACIÓN

#### A. VARIABLES

##### ➤ DISEÑO DE MEZCLA

El diseño de mezcla de afirmado es una mezcla de tres tamaños o tipos de material: piedra, arena y finos o arcilla. Si no existe una buena combinación de estos tres tamaños, el afirmado será pobre.

El afirmado requiere de un porcentaje de piedra para soportar las cargas, así mismo necesita un porcentaje de arena clasificada según tamaño para llenar los vacíos entre las piedras y dar estabilidad a la capa; y, obligatoriamente un porcentaje de finos plásticos para cohesionar los materiales de la capa de afirmado.

##### **CUALITATIVA:**

Es cualitativa por que indica distintas características en cuanto al diseño de mezcla.

##### **NOMINAL:**

Es nominal porque toma varias características en cuanto el diseño de mezcla.

##### ➤ COSTOS

Es el presupuesto total para la realización de los ensayos en el laboratorio de suelos para la comparación del afirmado con el aditivo Perma-zyme y sin Perma-zyme.



### **CUALITATIVA:**

Es cualitativa por que indica distintas características en cuanto a la comparación del afirmado sin aditivo y con aditivo.

### **NOMINAL:**

Es nominal porque toma varias características en cuanto a la comparación del afirmado sin aditivo y con aditivo.

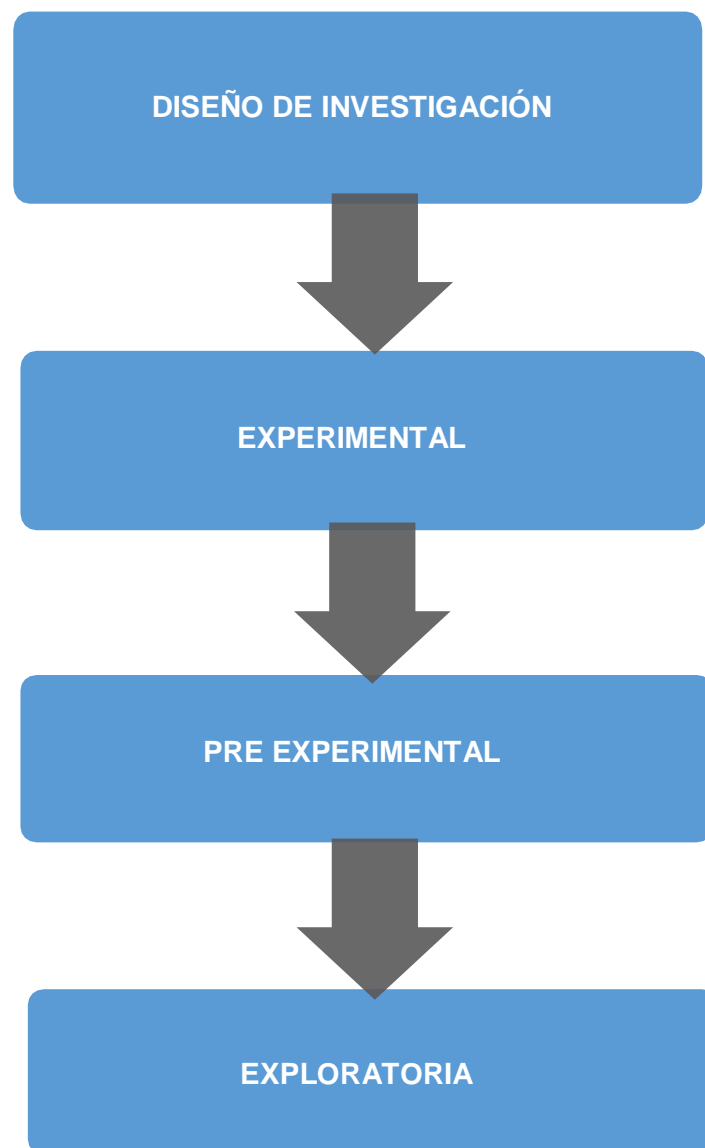
## B. OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

**Tabla 4: Hipótesis General**

	<b>DEFINICION CONCEPTUAL</b>	<b>DEFINICION OPERACIONAL</b>	<b>DIMENSIONES</b>	<b>INDICADORES ITEMS</b>
Diseño de mezcla para afirmado	Aplicando el aditivo perma-zyme 11x en el afirmado mejoramos su resistencia para soportar las cargas de los tranportes que circulan en estas.	Haciendo esta elaboracion se reducira los costos economicos, se mejorará el diseño de mezcla del afirmado, su calidad de vida y transitabilidad del sector.	Estudio de suelos	-contenido humedad -granulometria -limite liquido -limite plastico -proctor modificado -cbr - calculo para el diseño
			Diseño de mezcla	de mezcla del afirmado en laboratorio - preparacion de la muestra de perma-zyme 11x y su curado - ensayo de resistencia de la muestra del laboratorio.
			Costos	-el costo estimado para los ensayos requeridos en laboratorio será de 1200 soles.

## 2.2 TIPO DE DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

Esta investigación es aplicada por que está vinculada a la investigación básica, y tiene diseño experimental por que se manipula la variable que se va investigar, también el diseño es pre experimental porque es útil como un primer acercamiento al problema de investigación en la realidad y es exploratoria por que se investiga y se indaga sobre problemas poco estudiados en la sociedad.





## 2.3 MATERIAL DE ESTUDIO

### 2.3.1 POBLACIÓN

El tramo de la Vía Manco Capac – Víctor Raúl, se ubica en el Distrito de Huanchaco, Provincia de Trujillo, Departamento de La Libertad del año 2021.

El tramo es de 100 m aproximadamente de la Vía Manco Capac – Víctor Raúl.

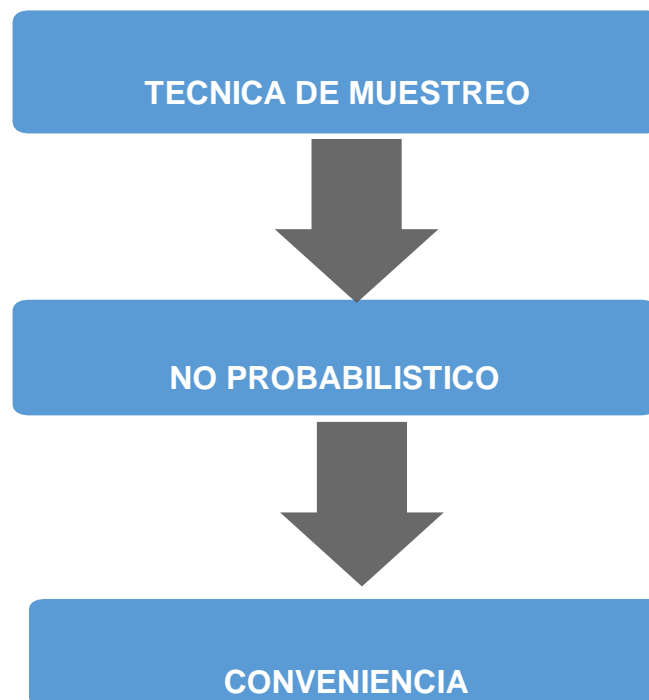




**Figura 3: Vista panorámica de la Via Manco Capac – Victor Raul**

### 2.3.2 MUESTRA

Esta investigación tiene una técnica de muestreo no probabilístico porque es aquel donde cada elemento de la población no tiene la misma probabilidad de pertenecer a la muestra y también es de conveniencia porque es la persona quien realiza la investigación.



## 2.4 TÉCNICAS, PROCEDIMIENTOS E INSTRUMENTOS

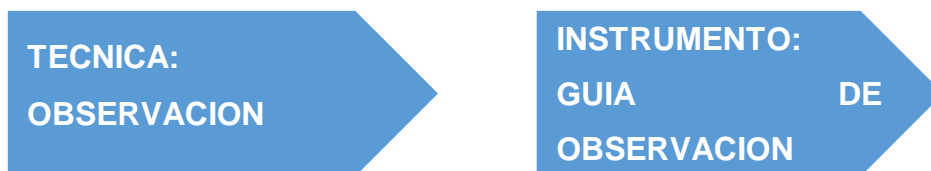
### 2.4.1 DE RECOLECCIÓN DE DATOS

#### ➤ TÉCNICA

Las técnicas de recolección de información básica para la presente investigación se obtendrán de los ensayos experimentales de laboratorio, cumpliendo con las normas precisadas para cada ensayo que nos ayudará a obtener resultados veraces.

#### ➤ INSTRUMENTO

En la presente investigación primero se clasificaron los datos obtenidos de los ensayos, luego se tabulan y grafican los resultados comparando los afirmados con aditivo y sin aditivo. Por último, se hará una correlación de los resultados obtenidos para cada muestra.



### 2.4.2 DE PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN

#### ➤ TÉCNICA

La presente investigación es de diseño no experimental por lo tanto se usará el método estadístico cuantitativo de estadística descriptiva, porque esta permite obtener el procesamiento de datos y muestras de datos mediante gráficos estadísticos, y así poder evaluar la comparación del diseño de mezcla del afirmado sin aditivo y con aditivo – Distrito de Huanchaco del

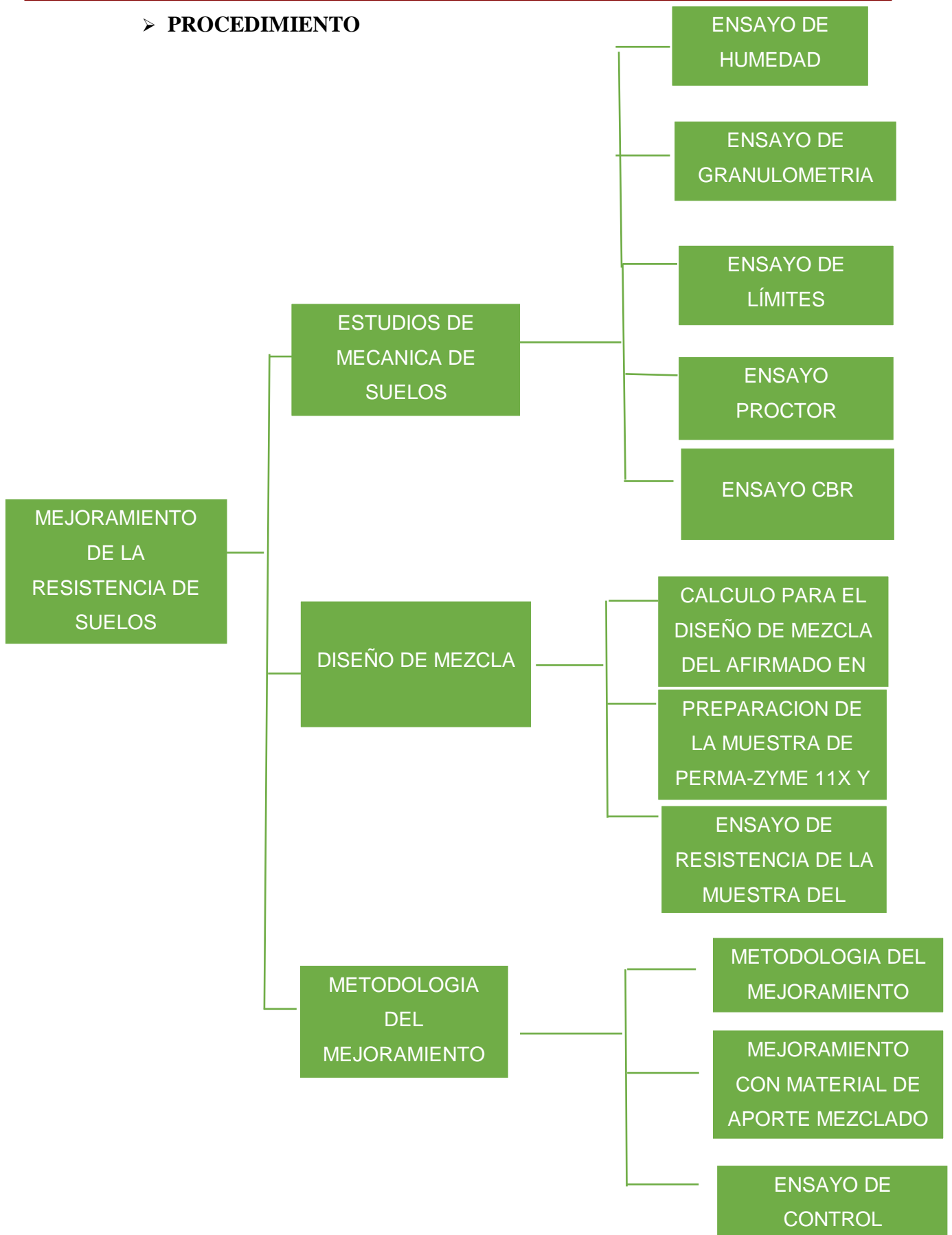


año 2021.

### ➤ INSTRUMENTO

La presente investigación se utilizará instrumento de gráficos estadísticos de barras y líneas para poder medir el nivel de desempeño en una estructura en la investigación de Disposición del diseño de mezcla del afirmado sin aditivo y con aditivo, Distrito de Huanchaco del año 2021.

➤ **PROCEDIMIENTO**



## ➤ ESTUDIOS DE MECÁNICA DE SUELOS

El estudio de suelo permite dar a conocer las características físicas y mecánicas del suelo, es decir la humedad, la profundidad, el tipo de cimentación más adecuado para la obra a construir y los asentamientos de la estructura en la relación al peso que va a soportar.

Los trabajos de laboratorio permitieron determinar las propiedades de los suelos mediante ensayos físicos-mecánicos de las muestras provenientes de cada una de las exploraciones. A continuación, se realiza una descripción de ensayos de laboratorio ejecutados:

**Tabla 5: Ensayos a Realizar a la Muestra Obtenida**

ENSAYO DE LABORATORIO	NORMAS APLICABLES			N° ENSAYOS	PROPOSITO
	MTC	NTP	ASTM		
Clasificación SUCS	-	339.134	D 2487	1	Determinar el tipo de suelo según los estándares existente
Clasificación AASHTO	-	-	D 3282	1	
Contenido de Humedad	E 108	339.127	D 2216	1	Determina el Contenido de Humedad de la muestra
Análisis Granulométrico por Tamizado	E 107	339.128	D 422	1	Determina la distribución del tamaño de partículas del suelo
Límite Líquido	E 110	339.129	D 4318	1	Hallar en contenido de agua entre los estados líquido y plástico
Límite Plástico	E 111	339.129	D 4318	1	Hallar en contenido de agua entre los estados plástico y semisólido
Índice Plástico	E 111	339.129	T 90	1	Hallar en contenido de agua por encima del cual, el suelo está en un estado plástico
Proctor Modificado	E 115	339.141	D 1557	2	Determina el óptimo contenido de humedad, para alcanzar la máxima densidad seca.
ENSAYO CBR	-	-	D 1883	2	Halla un índice C.B.R. del suelo. Permite inferir el Módulo Resiliente para Calcular Espesores de pavimento.

**Fuente: Elaboración Propia**

### III. CAPÍTULO III: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### RESUMEN DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Se efectuaron los siguientes ensayos estándar de Laboratorio, siguiendo las Normas establecidas por la American Society for Testing Materials (ASTM) de los Estados Unidos de Norte América.

#### CONTENIDO DE HUMEDAD (ASTM D 2216)

Para determinar el contenido de humedad del afirmado se siguieron los pasos presentes en la norma NTP 339.127.

Se determina el peso de agua eliminada, secando el suelo húmedo hasta un peso constante en un horno controlado a  $110 \pm 5$  °C\*. El peso del suelo que permanece del secado en horno es usado como el peso de las partículas sólidas. La pérdida de peso debido al secado es considerada como el peso del agua.

**Tabla 6: Determinación del Contenido de Humedad**  
**DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD**  
**ASTM D-2216**

#### IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA

MUESTRA : AFIRMADO

Recipiente N°		1	2
Peso de suelo humedo + tara	g	1542.0	1522.0
Peso de suelo seco + tara	g	1456.0	1440.0
peso de tara	g	207.0	201.0
Peso de agua	g	86.0	82.0
Peso de suelo seco	g	1249.0	1239.0
Contenido de agua	%	6.89	6.62
<b>Contenido de Humedad (%)</b>		<b>6.76</b>	

**Fuente: Elaboración Propia**

## **ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO (ASTM D 422)**

Uno de los requisitos para aplicar el aditivo PERMA-ZYME 11X fueron la cantidad de finos que debe tener el material el cual debió encontrarse entre 18 % y 30 %, por tanto, se tuvo que realizar el ensayo de Análisis Granulométrico de suelos por Tamizado; siguiendo los pasos detallados en la norma NTP 339.128. Para su ejecución se utiliza una serie de tamices con diferentes diámetros que son ensamblados en una columna. En la parte superior, donde se encuentra el tamiz de mayor diámetro, se agrega el material original (suelo o sedimento mezclado) y la columna de tamices se somete a vibración y movimientos rotatorios intensos en una máquina especial. Luego de algunos minutos, se retiran los tamices y se desensamblan, tomando por separado los pesos de material retenido en cada uno de ellos y que, en su suma, deben corresponder al peso total del material que inicialmente se colocó en la columna de tamices.



**Tabla 7: Análisis Granulométrico por Tamizado**

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO**

(NTP 339.128 / ASTM D-422 )

Nº MUESTRA : AFIRMADO

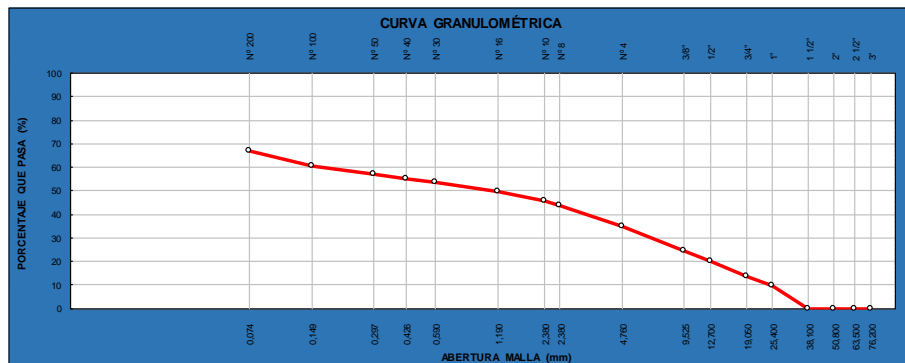
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO					
TAMIZ	ABERTURA (mm)	P. RET. (g)	RET. (%)	RET. ACUM. (%)	PASA (%)
3"	76.20	-	-	-	100.00
2 1/2"	63.50	-	-	-	100.00
2"	50.80	-	-	-	100.00
1 1/2"	38.10	-	-	-	100.00
1"	25.40	120.0	9.6	9.6	90.35
3/4"	19.05	50.0	4.0	13.67	86.33
1/2"	12.70	80.0	6.4	20.1	79.90
3/8"	9.53	55.00	4.42	24.52	75.48
Nº 4	4.76	128.00	10.29	34.81	65.19
Nº 8	2.38	111.00	8.92	43.73	56.27
Nº 10	2.00	22.00	1.77	45.50	54.50
Nº 16	1.19	54.00	4.34	49.84	50.16
Nº 30	0.59	49.00	3.94	53.78	46.22
Nº 40	0.43	19.00	1.53	55.31	44.69
Nº 50	0.30	23.00	1.85	57.15	42.85
Nº 100	0.15	45.00	3.62	60.77	39.23
Nº 200	0.074	78.00	6.27	67.04	32.96
FONDO	-	410.00	32.96	100.00	-

Peso Inicial Seco (g)	1244.0	% Grava =	34.81
Peso Lavado Seco (g)	834.0	% Arena =	32.23
Pérdida por Lavado (g)	410.0	% Finos =	32.96

$D_{10}$  (mm) = -0.201       $C_c$  = 0.00  
 $D_{30}$  (mm) = 0.04       $C_u$  = -16.82  
 $D_{60}$  (mm) = 3.37

LÍMITES DE CONSISTENCIA	LL (%)	33.3
	LP (%)	19.7
	IP (%)	13.6

CLASIFICACIÓN DE SUELOS	
SUCS (ASTM D 2487)	GC GRAVA ARCILLOSA
AASHTO (ASTM D 3282)	A-2-6(0)



Fuente: Elaboración Propia

**DETERMINACIÓN DE LIMITE LIQUIDO, LIMITE PLÁSTICO E INDICE DE PLASTICIDAD - NTP 339.129 - MTC E 110 – 2000/ MTC E 111 – 2000**

Otro de los requisitos requeridos para la aplicación de PERMAZYME 11X fue: EL INDICE DE PLASTICIDAD de la cantidad de afirmado de la cantidad que pasa la malla N°4.

Se conoce como plasticidad de un suelo a la capacidad de este de ser moldeable. Esta depende de la cantidad de arcilla que contiene el material que pasa la malla N°200, porque es este material el que actúa como ligante.

Un material, de acuerdo al contenido de humedad que tenga, pasa por tres estados definidos: líquidos, plásticos y secos. Cuando el agregado tiene determinado contenido de humedad en la cual se encuentra húmedo de modo que no puede ser moldeable, se dice que está en estado semilíquido, conforme se le va quitando agua, llega un momento en el cual el suelo, sin dejar de estar húmedo, comienza a adquirir una consistencia que permite moldearlo o hacerlo trabajable, entonces se dice que está en estado plástico.

El cual tenía que encontrarse entre 6 y 20 ( $6 < IP < 20$ ), habiendo seguido la norma NTP 339.129 – MTC E 110 – 2000/ MTC E 111 – 2000. A continuación, se seguirán los siguientes pasos:

#### **Para la determinación del límite líquido:**

Se tamizará una cierta cantidad de muestra seca que pasó por la malla N°4 hasta lograr una cantidad aproximadamente de 400 gr para los ensayos para la determinación de límite de plasticidad, límite plástico e índice de plasticidad.

Luego de tener la muestra seca tamizada en el recipiente se añadirá cierta cantidad de agua de a pocos en donde se tuvo que lograr que la muestra adopte una consistencia tipo pasta o puré; ajustando el contenido de agua del suelo para llevarlo a una consistencia que requiera 25 a 35 golpes en el dispositivo de límite líquido para cerrar la ranura. Una vez obtenida esta muestra húmeda, se cubrió el recipiente con la muestra el cual se dejó reposar alrededor de 16 horas.

Una vez que pasada las 16 horas, se mezclamos todo el suelo húmedo previo a la muestra, luego se dividió la muestra húmeda en el recipiente en 4 partes casi iguales. Luego se tomó una cantidad de muestra de una cuarta, la cual se colocó haciendo una pequeña presión en el recipiente conocido como copa de Casagrande colocando en la mitad de la copa y enrasando de manera uniforme

hasta una profundidad de aproximadamente 10 mm en su punto más profundo, formando una superficie aproximadamente horizontal, luego usando un acanalador hicimos una ranura de alrededor de 13 mm de espesor en la mitad de la muestra húmeda colocada en la copa siguiendo la línea del punto más alto al punto más bajo. Luego se tomó una pequeña cantidad de muestra con una pequeña espátula siendo la muestra aproximadamente del tamaño de la espátula.

Finalmente, una vez pesada la pequeña muestra, se colocará ésta con su respectivo recipiente en el horno, en donde se dejó secar alrededor de 24 horas.

### **Para la determinación del límite plástico:**

De la muestra sobrante del ensayo para la determinación del límite líquido se tomaron dos pequeñas muestras las cuales se tuvieron que amasar de tal forma que para ambas se debieron crear pequeños bastoncillos de 3.2 mm (1/8 pulg.) de diámetro en no más de 2 minutos, al instante de hacer los bastoncillos y llegar al diámetro descrito se generaron inmediatamente pequeñas grietas que hicieron que los bastoncillos se partieran.

Una vez creados estos bastoncillos y habiéndose partido como se mencionó anteriormente, éstos se colocaron en pequeñas taras pesadas previamente, para luego volver a ser pesadas en sus respectivos recipientes logrando alcanzar alrededor de 6 gr de muestra descontando el peso del recipiente.

Luego, se colocaron los 6 gr de cada muestra en sus respectivas taras en el horno, alrededor de 24 horas.

Finalmente, pasada las 24 horas se retiraron las muestras en sus respectivos recipientes, dejándose reposar 15 min para luego pesarlos y tomar nota de su peso seco; habiendo obtenido los siguientes resultados.

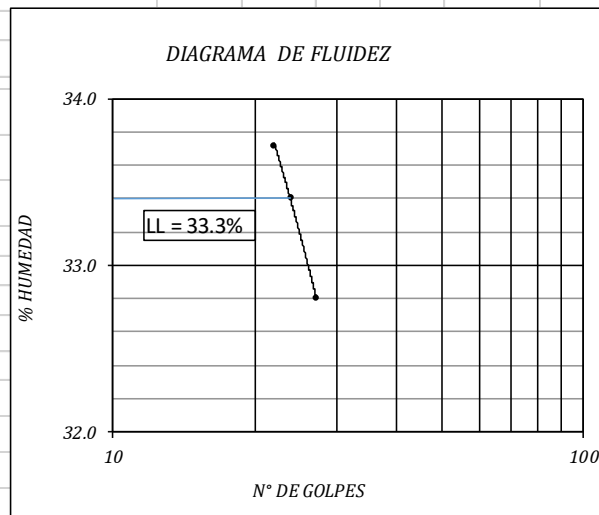
**Tabla 8: Límites de Consistencia**

## LÍMITES DE CONSISTENCIA

(NTP 339.129 / ASTM D-4318)

MUESTRA : AFIRMADO

DESCRIPCIÓN	LÍMITE LÍQUIDO				LÍMITE PLÁSTICO	
	1	2	3	4	1	2
ENSAYO No.						
PESO LATA + SUELO HÚMEDO (g)	33.60	34.14	35.20	-	29.74	28.05
PESO LATA + SUELO SECO (g)	30.34	30.95	31.62	-	28.51	26.84
PESO AGUA (g)	3.26	3.19	3.58	-	1.23	1.21
PESO DE LA LATA (g)	20.40	21.40	21.00	-	22.33	20.66
PESO SUELO SECO (g)	9.94	9.55	10.62	-	6.18	6.18
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	32.8	33.4	33.7	-	19.9	19.6
NÚMERO DE GOLPES	27	24	22	-		



RESULTADOS DEL ENSAYO	
LÍMITE LÍQUIDO (%)	33.3
LÍMITE PLÁSTICO (%)	19.7
ÍNDICE DE PLASTICIDAD (%)	13.6

**Fuente: Elaboración Propia**

### CLASIFICACIÓN UNIFICADA DE SUELOS SUCS (ASTM D 2487)

La clasificación de suelos más usada desde el punto de vista de mecánica de suelos es el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) el cual asigna un símbolo para cada uno de los tipos de suelo, ya sean orgánicos o inorgánicos. Sus principales parámetros de clasificación son: el Límite Líquido (LL), el Límite Plástico (LP) y el tamaño de partículas (granulometría). Los cuales describen el comportamiento mecánico del suelo. Las normas ASTM D-2487

muestran la clasificación de suelos. La clasificación SUCS se muestra a continuación.

### CLASIFICACIÓN AASHTO (ASTM D 3282)

El sistema de clasificación AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) (Designación ASTM D-3282; método AASHTO M145) es uno de los primeros sistemas de clasificación de suelos, desarrollado por Terzaghi y Hogentogler en 1928. Este sistema pasó por varias revisiones y actualmente es usado para propósitos ingenieriles enfocados más en el campo de las carreteras como la construcción de los terraplenes, subrasantes, sub-bases y bases de las carreteras. Sin embargo, es necesario recordar que un suelo que es bueno para el uso de subrasantes de carreteras puede ser muy pobre para otros propósitos. Este sistema de clasificación está basado en los resultados de la determinación en laboratorio de la distribución del tamaño de partículas, el límite líquido y el límite plástico.

Los suelos clasificados dentro los grupos A-1, A-2 y A-3 son materiales granulares de los cuales 35% o menos de las partículas pasan a través del tamiz N° 200. Los suelos que tienen más del 35% de partículas que pasan a través del tamiz N° 200 se clasifican dentro de los grupos de material fino A-4, A-5, A-6 y A-7. Estos suelos son principalmente limo y materiales de tipo arcilla. La evaluación de los suelos dentro de cada grupo se realiza por medio de un índice de grupo, que es un valor calculado a partir de una ecuación empírica.

**Tabla 9: Ensayos Estándar**

Calicata/ Sondaje N°	Muestra	Ensayos Estándar					
		SUCS	AASHTO	%finos	LL(%)	IP(%)	Wn(%)
C <sub>1</sub>	M <sub>1</sub>	GC	A-2-6(0)	32.96	33.3	13.6	17.05

**Fuente: Elaboración Propia**

## **ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO (ASTM D 1557)**

Para el ensayo de Proctor Modificado se siguieron estos pasos:

De la muestra de afirmado secada, se tomará una cierta cantidad de la bandeja de 30 Kg el cual se tamizará por las mallas: 3/4", 3/8" y N°4. Tomando nota de los pesos de cada material retenido en cada tamiz mencionados anteriormente además de tomar nota del peso de la cantidad de muestra que pasa por la malla N° 4; a excepción del material retenido en la malla 3/4" el cual debe ser eliminado, para los demás tamices debemos tomar nota de sus pesos calculados. El suelo colocado como un lleno geotécnico (en base de carreteras, terraplenes, llenos de fundación) se compacta a un estado denso para obtener propiedades geotécnicas apropiadas como resistencia al corte, compresibilidad, permeabilidad. También los suelos de fundación son compactados frecuentemente para mejorar sus propiedades geotécnicas. Los ensayos de compactación en el laboratorio proporcionan la base el porcentaje de compactación y el contenido de agua necesaria para conseguir las propiedades geotécnicas requeridas, y para llevar el control durante la construcción que permita asegurar que se alcanzan los contenidos de agua y la compactación requerida.

**Tabla 10: Ensayo Proctor Modificado**

**ENSAYO PROCTOR MODIFICADO**

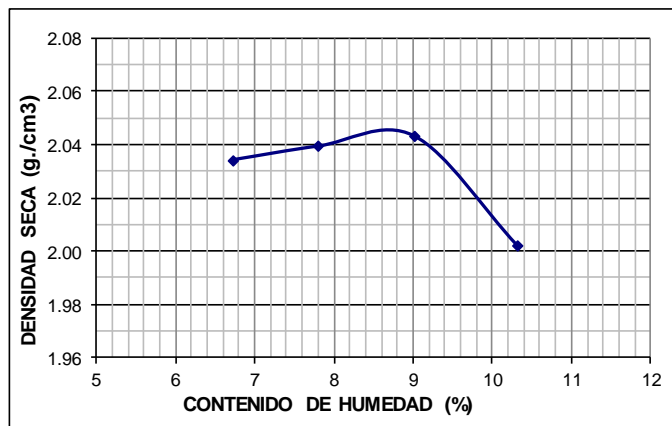
**ASTMD-1557**

**IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA**

MUESTRA : AFIRMADO

Nº DE ENSAYO	1	2	3	4
Peso molde+Suelo Húmedo (g.)	11,202.00	11,261.00	11,322.00	11,282.00
Peso del Molde (g.)	6591.00	6591.00	6591.00	6591.00
Peso Suelo Húmedo (g.)	4611.00	4670.00	4731.00	4691.00
Volúmen del molde (cm <sup>3</sup> )	2124.00	2124.00	2124.00	2124.00
<b>Densidad Suelo humedo (g./cm<sup>3</sup>)</b>	<b>2.171</b>	<b>2.199</b>	<b>2.227</b>	<b>2.209</b>

Número de Tarro	1	2	3	4
Peso Tarro +Suelo húmedo (g.)	263.00	272.00	269.00	273.00
Peso Tarro + Suelo Seco (g.)	255.00	262.00	258.00	260.00
Peso Tarro (g.)	136.00	134.00	136.00	134.00
Peso del agua (g.)	8.00	10.00	11.00	13.00
Peso de suelo seco (g.)	119.00	128.00	122.00	126.00
<b>Humedad promedio (%)</b>	<b>6.723</b>	<b>7.813</b>	<b>9.016</b>	<b>10.317</b>
<b>Densidad Seca (g./cm<sup>3</sup>)</b>	<b>2.034</b>	<b>2.039</b>	<b>2.043</b>	<b>2.002</b>



MÉTODO:	C
NÚMERO DE CAPAS:	5
NÚMERO DE GOLPES:	56
<b>DSM (g./cm<sup>3</sup>)</b>	<b>2.043</b>
<b>OCH (%)</b>	<b>9.0</b>

DATOS DEL MOLDE	
Nº:	I
PESO(g.):	6591.0
VOLÚMEN(cm <sup>3</sup> ):	2124.0

**Fuente: Elaboración Propia**

**ENSAYO CBR**

El Ensayo CBR (California Bearing Ratio: Ensayo de Relación de Soporte de California) mide la resistencia al esfuerzo cortante de un suelo y para poder evaluar la calidad del terreno para subrasante, sub base y base de pavimentos. Se efectúa bajo condiciones controladas de humedad y densidad.

Este es uno de los parámetros necesarios obtenidos en los estudios geotécnicos previos a la construcción, como también lo son el Ensayo Proctor y los análisis granulométricos del terreno. Esta prueba determina la resistencia al esfuerzo cortante por punzonamiento de los materiales.

El CBR es un ensayo reconocido en todo el mundo. Es un ensayo estándar para medir y determinar las capacidades de soporte de carga de los suelos (natural o en laboratorio) que se utiliza para construir una capa de rodamiento estructuralmente buena.

El CBR inicialmente se ensaya en el laboratorio. Las pruebas de campo se basarán en los resultados obtenidos en el laboratorio. Las pruebas de campo se basarán en los resultados obtenidos en el laboratorio. Utilizando la información necesaria (MDS y OCH y la proporción de aplicación de PERMA-ZYME 11X), las muestras se moldean en contenedores CBR especiales. Luego, las muestras se someten a carga utilizando una prensa de carga. La información se registra para ser utilizada posteriormente en la prueba. Después de recolectar la información las muestras se compactan.

## ➤ DISEÑO DE MEZCLA

### **CALCULOS PARA EL DISEÑO DE MEZCLAS DEL AFIRMADO EN LABORATORIO CON ADITIVO ECOLÓGICO PERMAZYME 11X**

Para el diseño de mezclas del afirmado en laboratorio se siguieron estas indicaciones:

Se deberán tener datos de la humedad presente del suelo, del peso específico seco o densidad seca natural y humedad óptima; es posible obtener matemáticamente la cantidad de agua necesaria para adicionar al suelo y llegar a la humedad óptima.

Se debe tener claridad de la cantidad de suelo compacto “X”, en m<sup>3</sup>, que se va a trabajar en la jornada. Esta cantidad de material se divide en 30 para



saber cuánto PERMA ZYME 11X en litros, se debe aplicar en el suelo, de la siguiente forma:

$$PZ = \frac{\text{Volumen de Suelo}}{30}$$

Como la cantidad de agua que se debe aplicar al suelo es proporcional al mismo si se quiere llegar a la humedad óptima, hemos obtenido la siguiente expresión para hallar la cantidad de agua necesaria:

$$V = \frac{\gamma(\omega_o - \omega_n)}{1 + (\gamma \times \omega_o)}$$

Donde:

V = Volumen de agua que se debe adicionar por cada m<sup>3</sup> de suelo, en m<sup>3</sup>

$\gamma$  = Peso específico seco del suelo o densidad seca natural del suelo, según el ensayo de Proctor, en ton/m<sup>3</sup>

$\omega_o$  = Humedad óptima del suelo, según el ensayo de Proctor, en %

$\omega_n$  = Humedad natural del suelo, en %

La cantidad de agua final que se debe adicionar al volumen de suelo, es: V multiplicada por el número de m<sup>3</sup> del suelo compacto que se va a trabajar.

### **PREPARACIÓN DE LA MUESTRA CON PERMA-ZYME 11X Y SU CURADO:**

Una vez determinada la humedad óptima para el diseño de una mezcla apropiada debe prepararse un molde para la determinación del CBR. Antes de colocar el material en el molde, el material del recipiente debe humedecerse hasta su humedad óptima usando una mezcla de agua y PERMA-ZYME 11Xl. El material de base deberá ser mezclado perfectamente y su contenido de humedad revisado antes de su compactación y curado. Es recomendable cubrir el recipiente con un cobertor impermeable para evitar la pérdida de humedad durante la preparación de la muestra.

Con la mezcla preparada y ajustada de PERMA - ZYME 11X con el material en cuanto a su humedad, se preparará el molde. Este material tratado se compactará 24 horas después de su mezclado para garantizar que la enzima actúe sobre la mezcla según el Procedimiento C de ASTM D698-91, y se dejará en un lugar seco.

La muestra compactada será curada durante un mínimo de 72 hrs a temperatura ambiente. Si es posible, el tiempo de curado se incrementará a 120 hrs. (5 días) antes de someterla a cualquier ensayo de resistencia para permitir maximizar la resistencia de enlace en la muestra. Si se desea usar un horno para el proceso de curado, la temperatura de este no debe superar los 37° Celsius.

#### **ENSAYO DE RESISTENCIA DE LA MUESTRA DE LABORATORIO:**

Si se desea, la muestra PERMA-ZYME 11X con material de base totalmente curada se puede ensayar a la resistencia relativa. Se recomienda ensayar C.B.R (California Bearing Ratio), según la norma ASTM D-1883. Como el ensayo CBR puede hacerse con una mezcla sumergida o no sumergida, se recomienda usar el segundo método para mayor veracidad y frecuencia de los resultados.

#### **➤ METODOLOGÍA DEL MEJORAMIENTO DE LA RESISTENCIA:**

##### **METODOLOGIA DEL MEJORAMIENTO**

El método con el cual se mejora el suelo depende de la maquinaria disponible y más que todo del plan de trabajo que se adopte para la obra y si el suelo que se va a estabilizar es apto para trabajar con PERMA-ZYME 11X. A continuación, se exponen algunas posibilidades de trabajo que pueden usarse para la estabilización de suelos con el multienzimático.

NOTA: El suelo es llevado a tal condición que cumpla con los requerimientos del multienzimático. Los parámetros principales como son granulometría e índice de plasticidad, ya se han establecido previamente por el fabricante de

PERMA ZYME 11X; es importante recordar que la proporción de PERMA ZYME 11X respecto del suelo ya está establecida, por lo que no se debe cambiar dicha proporción.

Mejoramiento con el material de aporte mezclado en otro sitio con este procedimiento el suelo a estabilizar inicialmente se encuentra en un sitio diferente al de disposición final; en este lugar se encuentra disgregado, se aplica la mezcla de agua + PERMA ZYME 11X, se homogeniza y se transporta al sitio donde se dispondrá finalmente. Luego, en el sitio elegido donde se dispondrá el suelo estabilizado, se extiende la mezcla, se nivela y se compacta.

Este método de estabilización es eficiente en cuanto al ahorro de tiempo, pero siempre y cuando el volumen de estabilización sea grande y se cuente con los equipos de transporte y mezclado necesarios. Debido a que se trabajará con material de aporte, el suelo natural del sitio se considera como sub-rasante.

### **MEJORAMIENTO CON MATERIAL DE APORTE MEZCLADO EN OTRO SITIO:**

Con este procedimiento el suelo a estabilizar inicialmente se encuentra en un sitio diferente al de disposición final; en este lugar se encuentra disgregado, se aplica la mezcla de agua + PERMA-ZYME 11X, se homogeniza y se transporta al sitio donde se dispondrá finalmente. Luego, en el sitio elegido donde se dispondrá el suelo estabilizado, se extiende la mezcla, se nivela y se compacta. Este método de mejoramiento es eficiente en cuanto al ahorro de tiempo, pero siempre y cuando el volumen de estabilización sea grande y se cuente con los equipos de transporte y mezclado necesarios. Debido a que se trabajará con material de aporte, el suelo natural del sitio se considera como sub-rasante.

### **ENSAYOS DE CONTROL:**

Como garantía tangible y medible de los trabajos de mejoramiento realizados, se deben realizar pruebas de laboratorio con los que se demuestra la acción de PERMA-ZYME 11X:

- Densidades o pesos unitarios secos en el terreno, por el método que se desee.
- CBR de laboratorio, CBR inalterado o CBR en el terreno (IN SITU).
- Compresiones de cilindros adicionando PERMA-ZYME 11X.
- Medida de deflexiones, por cualquier método.

## ➤ RESULTADOS EXPERIMENTALES Y DISCUSIÓN

En este capítulo se presentan los resultados de los ensayos de CBR con aditivo en comparación con la muestra sin aditivo sumergido y no sumergido en el laboratorio además de confrontarlo con los resultados en campo.

Para los ensayos de CBR del suelo compactado primero sin aditivo y con aditivo sumergidos, ensayamos el CBR de manera convencional (SUMERGIENDO LA MUESTRA COMPACTADA DESPUES DE COMPACTAR).

A continuación, explicamos brevemente como se realizaron los ensayos de CBR convencionales:

Se realizó el primer ensayo con el material seco, habiendo retirado el contenido de humedad previamente habiendo colocado la muestra en el horno. Luego se le agregó la cantidad de agua necesaria hasta llegar a su humedad óptima, en este caso como la humedad óptima del material es de 9.21% y la muestra fue de 5500 gr, le tuvimos que agregar 506.55 ml de agua limpia de impurezas, mezclando de manera homogénea.

Una vez obtenida la muestra húmeda la dividimos en 5 partes iguales, para a continuación colocarla en capas en el molde Marshall para CBR para luego ser compactados en este primer caso con 56 golpes. Así sucesivamente habiéndolo hecho capa por capa hasta haber llegado a la 5ta capa.

Luego de compactada la muestra se retira el anillo superior del molde de Marshall para a continuación enrasar el suelo compactado quitándole el exceso de suelo del molde. Al momento de eliminar el exceso de suelo, se colocan partes del suelo sobrante en 2 taras previamente pesadas, para enseguida pesarlas con las muestras

extraídas y colocarlas en el horno por 24 horas.

Enseguida tomamos el molde Marshall previamente pesado sin la muestra compactada y enrasada, para luego pesar nuevamente el molde, pero esta vez con el suelo compactado y enrasado.

Sucesivamente se realizan las siguientes compactaciones siguiendo el mismo procedimiento de la muestra compactada con 56 golpes, pero en estos casos con 25 y 12 golpes en su respectivo molde cada uno. Finalmente pasamos a los ensayos de expansión y penetración en donde se realizó lo siguiente:

#### **Ensayo de expansión:**

Se colocaron los 3 moldes con los suelos compactados sobre una plataforma asegurada con pernos, colocando 2 pesas de forma circular en la superficie de la muestra dentro del molde y luego sumergimos en agua libre de impurezas para finalmente colocar encima los diales de deformación dejándolos sumergidos con los diales sobrepuestos por 96 horas, tomando nota de los resultados obtenidos en los diales cada 24 horas hasta llegar a las 96 horas.

#### **Ensayo de Penetración:**

Una vez pasada las 96 horas de haber sumergido la muestra, se retiran los moldes con las muestras compactadas dejándose fuera del agua por alrededor de 20 min tratando de eliminar el exceso de agua en los moldes colocando los moldes de forma inclinada.

Finalmente, pasado los 20 min, llevamos los moldes con las muestras húmedas para pasarlas por el ensayo de penetración usando la máquina para ensayo de CBR o prensa de carga en donde obtendremos los resultados de las cargas a través de la máquina, registrando las cargas proporcionales a los asentamientos del suelo después de ser penetradas por el pistón de carga en el centro del suelo compactado en el molde.

A continuación, mostraremos los resultados de ensayos realizados con la muestra sumergida sin aditivo PERMAZYME 11X y con aditivo PERMAZYME 11X

**Tabla 11: Ensayo De Cbr En Laboratorio Sin Aditivo Sumergido**

## RAZON SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)

ASTM D-1883

MATERIAL : AFIRMADO

Sobrecarga Aplicada : 4530

COMPACTACIÓN	MOLDE -1		MOLDE -2		MOLDE -3	
CONDICIÓN	SIN SUMERGIR	SUMERGIDO	SIN SUMERGIR	SUMERGIDO	SIN SUMERGIR	SUMERGIDO
Número de Capas/Nº Golpes	5/56		5/25		5/12	
Muestra húmeda + Molde (g.)	13351.0	13497.0	13165.0	13312.0	13010.0	13193.0
Peso del Molde (g.)	8624.9	8624.9	8540.0	8540.0	8547.7	8547.7
Peso de la Muestra húmeda (g.)	4726.1	4872.1	4625.0	4772.0	4462.3	4645.3
Volúmen de la Muestra (cm <sup>3</sup> )	2109.2	2109.2	2120.0	2120.0	2121.0	2121.0
Densidad húmeda (g./cm <sup>3</sup> )	<b>2.241</b>	<b>2.310</b>	<b>2.182</b>	<b>2.251</b>	<b>2.104</b>	<b>2.190</b>

CONTENIDO DE HUMEDAD (ASTM D 2216)						
Tara N°	1	2	3	4	5	6
Muestra húmeda + Tara (g.)	524.1	432.0	490.3	509.0	511.8	489.4
Muestra seca + Tara (g.)	490.1	400.2	458.6	469.9	478.9	451.3
Peso del Agua (g.)	34.0	31.8	31.7	39.1	32.9	38.1
Peso de la Tara (g.)	134.2	134.5	135.8	126.0	132.5	127.5
Muestra Seca (g.)	355.9	265.7	322.8	343.9	346.4	323.8
Contenido de Humedad (%)	9.55	11.97	9.82	11.37	9.50	11.77
DENSIDAD SECA (g./cm <sup>3</sup> )	<b>2.045</b>	-	<b>1.987</b>	-	<b>1.921</b>	-

EXPANSIÓN	Molde N°		1		2		3	
	-	Tiempo	Le c tura	Hinc ha m.	Le c tura	Hinc ha m.	Le c tura	Hinc ha m.
	-	(ho ras)	díal	(mm)	díal	(mm)	díal	(mm)
	10.30 am	0	0	0	0	0	0	0
	10.30 pm	24	40	1.016	52	1.321	56	1.422
	10.30 am	48	43	1.092	54	1.372	58	1.473
	10.30 pm	72	47	1.194	56	1.422	59	1.499
	10.30 pm	96	50	1.270	58	1.473	60	1.524

ENSAYO CARGA - PENETRACIÓN	PENETRACIÓN (mm)	(pulg)	Molde N° 01		Molde N° 02		Molde N° 03	
			Carga ( Kg )	kg/cm <sup>2</sup>	Carga ( Kg )	kg/cm <sup>2</sup>	Carga ( Kg )	kg/cm <sup>2</sup>
	0.64	<b>0.025</b>	83.3	4.3	54.8	2.83	30.1	1.56
1.27	<b>0.050</b>	348.9	18.0	290.1	15.00	208.5	10.78	
1.91	<b>0.075</b>	673.4	34.8	560.0	28.95	383.1	19.80	
2.54	<b>0.100</b>	978.5	50.6	817.4	42.25	755.6	39.06	
3.81	<b>0.150</b>	1287.0	66.5	1186.8	61.35	955.0	49.37	
5.08	<b>0.200</b>	1715.5	88.7	1537.4	79.47	1427.5	73.79	
6.35	<b>0.250</b>	1887.0	97.5	1679.5	86.82	1587.7	82.07	
7.62	<b>0.300</b>	1980.3	102.4	1783.6	92.20	1689.2	87.32	
12.7	<b>0.500</b>	2077.1	107.4	1854.8	95.88	1750.8	90.50	

**Fuente: Elaboración Propia**

La tabla 6.1.1 nos muestra cual es la densidad húmeda y la densidad seca máxima del suelo compactado con 56, 25 y 12 golpes, donde podemos observar lo

siguiente:

- Para 56 golpes se obtuvo una densidad húmeda máxima de 2.241 gr/cm<sup>3</sup> antes de sumergir y 2.310 gr/cm<sup>3</sup> después de sumergido; además una densidad seca máxima de 2.045gr/cm<sup>3</sup>.
- Para 25 golpes se obtuvo una densidad húmeda máxima de 2.182 gr/cm<sup>3</sup> antes de sumergir y 2.251 gr/cm<sup>3</sup> después de sumergido; además una densidad seca máxima de 1.987 gr/cm<sup>3</sup>.
- Para 12 golpes se obtuvo una densidad húmeda máxima de 2.104 gr/cm<sup>3</sup> antes de sumergir y 2.190 gr/cm<sup>3</sup> después de sumergido; además una densidad seca máxima de 1.921 gr/cm<sup>3</sup>.

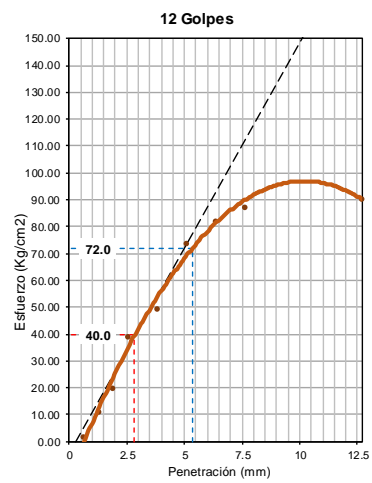
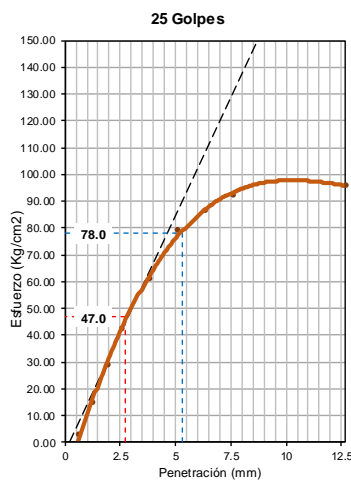
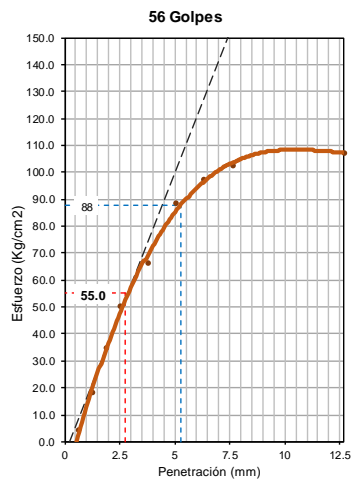
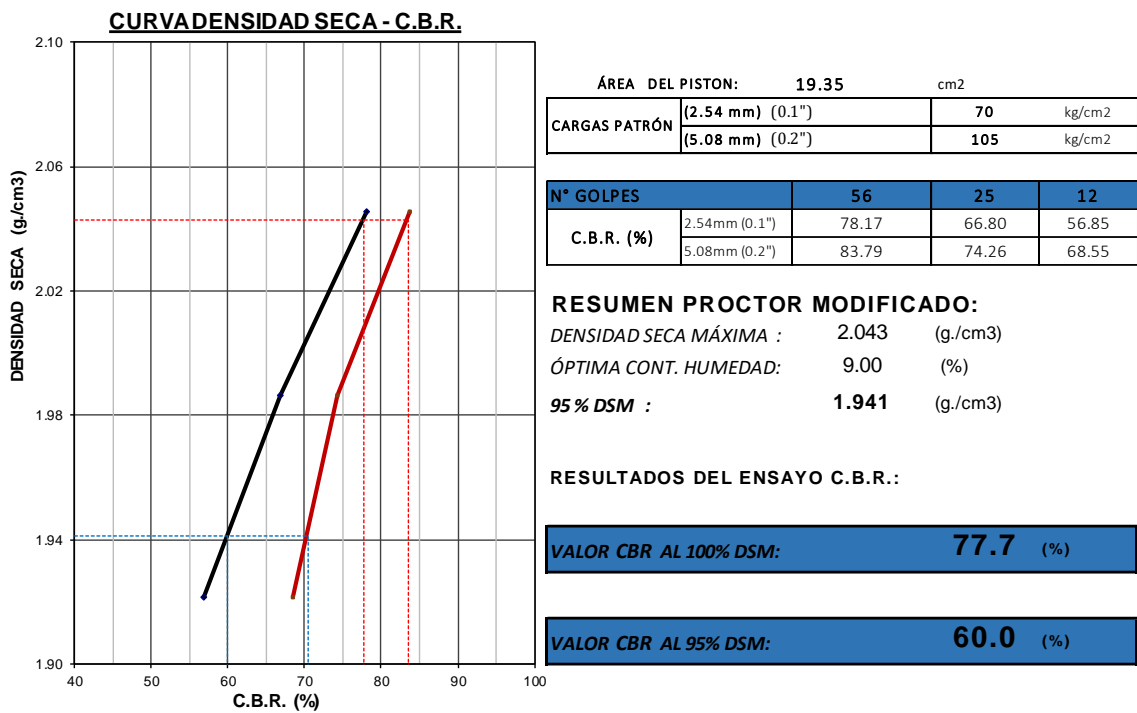
También podemos observar la expansión de la muestra compactada sin aditivo, habiéndolo sumergido durante 96 horas y habiendo tomado nota del hinchamiento en milímetros cada 24 horas, mostrando lo siguiente:

- Para una compactación de 56 golpes un hinchamiento inicial de 40 líneas en el dial que representan 1.016 mm y un hinchamiento máximo de 50 líneas en el dial que representa 1.27 mm.
- Para una compactación de 25 golpes un hinchamiento inicial de 52 líneas en el dial que representan 1.321 mm y un hinchamiento máximo de 58 líneas en el dial que representa 1.473 mm
- Para una compactación de 12 golpes un hinchamiento inicial de 56 líneas en el dial que representan 1.422 mm y un hinchamiento máximo de 60 líneas en el dial que representa 1.524 mm

**Tabla 12: Curva Densidad – CBR al 95% y 100 % de muestra SIN ADITIVO – SUMERGIDO**

MUESTRA: AFIRMADO

MATERIAL: AFIRMADO





También se grafican los CBR's alcanzados por las 3 muestras sin aditivo compactadas con 56, 25 y 12 golpes después de sumergirlos vs su densidad seca máxima, en donde obtenemos lo siguiente:

- Valor de CBR al 95%: CBR mínimo 60.00% y CBR máximo 83.50%
- Valor de CBR al 100%: CBR mínimo 77.70% y CBR máximo 70.50%

También se grafican las curvas de Penetración (mm) vs Esfuerzo (Kg/m<sup>2</sup>), donde podemos apreciar que los asentamientos (por la penetración - mm) del suelo requeridos por el ensayo de CBR no requieren de esfuerzos tan altos para su asentamiento inmediato.

**Tabla 13: ENSAYO DE CBR EN LABORATORIO CON ADITIVO SUMERGIDO**

**RAZON SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)**

ASTM D-1883

MATERIAL : AFIRMADO

Sobrecarga Aplicada : 4530

COMPACTACIÓN	MOLDE -1		MOLDE -2		MOLDE -3	
	SIN SUMERGIR	SUMERGIDO	SIN SUMERGIR	SUMERGIDO	SIN SUMERGIR	SUMERGIDO
CONDICIÓN						
Número de Capas/Nº Golpes	5/56		5/25		5/12	
Muestra húmeda + Molde (g.)	13363.0	13518.0	13174.0	13332.0	13034.0	13216.0
Peso del Molde (g.)	8624.9	8624.9	8540.0	8540.0	8547.7	8547.7
Peso de la Muestra húmeda (g.)	4738.1	4893.1	4634.0	4792.0	4486.3	4668.3
Volúmen de la Muestra (cm <sup>3</sup> )	2109.2	2109.2	2120.0	2120.0	2121.0	2121.0
Densidad húmeda (g./cm <sup>3</sup> )	2.246	2.320	2.186	2.260	2.115	2.201

CONTENIDO DE HUMEDAD (ASTM D 2216)						
Tara Nº	1	2	3	4	5	6
Muestra húmeda + Tara (g.)	534.1	445.0	502.5	521.0	523.6	501.2
Muestra seca + Tara (g.)	500.1	413.2	470.8	481.9	490.5	463.1
Peso del Agua (g.)	34.0	31.8	31.7	39.1	33.1	38.1
Peso de la Tara (g.)	134.2	134.5	135.8	126.0	132.5	127.5
Muestra Seca (g.)	365.9	278.7	335.0	355.9	358.0	335.6
Contenido de Humedad (%)	9.29	11.41	9.46	10.99	9.25	11.35
DENSIDAD SECA (g./cm <sup>3</sup> )	2.055	-	1.997	-	1.936	-

EXPANSIÓN	Molde Nº	1		2		3	
	Tiempo	Le c tura	Hinc ham.	Le c tura	Hinc ham.	Le c tura	Hinc ham.
	(ho ras)	día l	(mm)	día l	(mm)	día l	(mm)
	10.30 am	0	0	0	0	0	0
	10.30 pm	24	0.152	20	0.508	42	1.067
	10.30 am	48	0.152	20	0.508	42	1.067
	10.30 pm	72	0.152	20	0.508	42	1.067
	10.30 pm	96	0.152	20	0.508	42	1.067

ENSAYO CARGA - PENETRACIÓN	PENETRACIÓN (mm)	(pulg)	Molde Nº 01		Molde Nº 02		Molde Nº 03	
			Carga ( Kg )	kg/cm <sup>2</sup>	Carga ( Kg )	kg/cm <sup>2</sup>	Carga ( Kg )	kg/cm <sup>2</sup>
	0.64	0.025	293.4	15.2	264.7	13.68	240.0	12.41
1.27	0.050	598.6	30.9	510.5	26.39	458.2	23.69	
1.91	0.075	923.2	47.7	810.0	41.87	633.0	32.72	
2.54	0.100	1228.0	63.5	1067.0	55.16	1005.4	51.97	
3.81	0.150	1537.0	79.5	1436.0	74.23	1295.0	66.94	
5.08	0.200	1965.0	101.6	1787.6	92.40	1677.2	86.70	
6.35	0.250	2137.0	110.5	1929.4	99.73	1837.5	94.98	
7.62	0.300	2230.2	115.3	2033.2	105.10	1919.0	99.20	
12.7	0.500	2327.4	120.3	2104.2	108.77	2023.6	104.60	

También nos muestra cual es la densidad húmeda y la densidad seca máxima del suelo compactado con 56, 25 y 12 golpes, donde podemos observar lo siguiente:

- Para 56 golpes se obtuvo una densidad húmeda máxima de 2.246 gr/cm<sup>3</sup> antes de sumergir y 2.320 gr/cm<sup>3</sup> después de sumergido; además una densidad seca máxima de 2.055 gr/cm<sup>3</sup>.
- Para 25 golpes se obtuvo una densidad húmeda máxima de 2.186 gr/cm<sup>3</sup> antes de sumergir y 2.260 gr/cm<sup>3</sup> después de sumergido; además una densidad seca máxima de 1.997 gr/cm<sup>3</sup>.
- Para 12 golpes se obtuvo una densidad húmeda máxima de 2.115 gr/cm<sup>3</sup> antes de sumergir y 2.201 gr/cm<sup>3</sup> después de sumergido; además una densidad seca máxima de 1.936 gr/cm<sup>3</sup>.

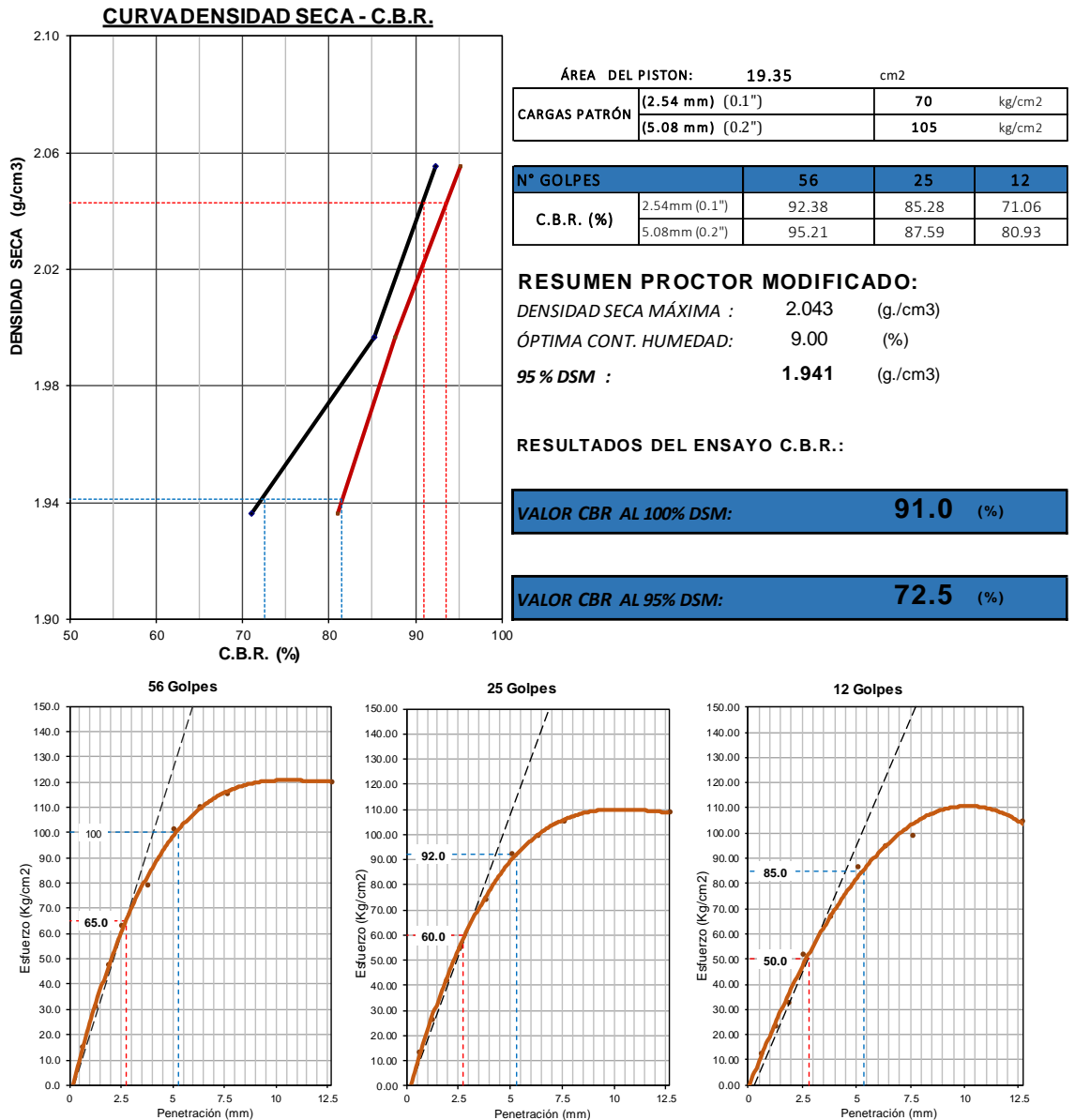
También podemos observar la expansión de la muestra compactada con aditivo, habiéndolo sumergido durante 96 horas y habiendo tomado nota del hinchamiento en milímetros cada 24 horas, mostrando lo siguiente:

- Para una compactación de 56 golpes un hinchamiento inicial de 7 líneas en el dial que representan 0.178 mm el cual se mantuvo igual hasta pasar las 96 horas sumergido.
- Para una compactación de 25 golpes un hinchamiento inicial de 21 líneas en el dial que representan 0.53 mm el cual se mantuvo igual hasta pasar las 96 horas sumergido.
- Para una compactación de 12 golpes un hinchamiento inicial de 42 líneas en el dial que representan 1.067 mm el cual se mantuvo igual hasta pasar las 96 horas sumergido.

**Tabla 14: Curva Densidad – CBR al 95% y 100 % de muestra con aditivo sumergido**

MUESTRA: AFIRMADO

MATERIAL: AFIRMADO



También se grafican los CBR's alcanzados por las 3 muestras con aditivo compactadas con 56, 25 y 12 golpes después de sumergirlos vs su densidad seca máxima, en donde obtenemos lo siguiente:

- Valor de CBR al 95%: CBR mínimo 72.50% y CBR máximo 81.50%
- Valor de CBR al 100%: CBR mínimo 91.00% y CBR máximo 93.50%

También se grafican las curvas de Penetración (mm) vs Esfuerzo (Kg/m<sup>2</sup>), donde podemos apreciar que los asentamientos (por la penetración - mm) del suelo requeridos por el ensayo de CBR requieren de esfuerzos ligeramente altos para su asentamiento inmediato.

### ➤ **COMPARACIÓN DE COSTOS ENTRE LA COLOCACIÓN DE UN AFIRMADO SIN ADITIVO Y OTRO CON LA VÍA ESTABILIZADA DE PERMAZYNE 11X**

Como observamos anteriormente en los ítems 6.5.1 y 6.5.2, obtenemos que: la vía estabilizada con el multienzimático PERMAZYME 11X no requiere de mejoramiento de la base o de adición de otro afirmado; ya que presenta una alta capacidad de soporte de carga, en cambio el tramo al que no se le añadió el estabilizante, requiere de un nuevo material de afirmado para que pueda mejorar su capacidad de soporte de carga en caso no se utilizara el aditivo, es por eso que para probar cual es el método que más nos conviene, comparamos los costos de un afirmado estabilizado con PERMAZYME 11X vs un afirmado mejorado con un material nuevo.

Sabiendo que estabilizando de las 2 formas el proceso constructivo es similar. Entonces la diferencia se encontraría entre el material o insumo que se va a utilizar en obra. Por lo tanto, tenemos lo siguiente.

- Costo de 1 m<sup>3</sup> de Afirmado: S/. 23.50 soles.
- Costo de 1 m<sup>3</sup> de Hormigón: S/. 23.50 soles.
- Costo de 1 litro de PERMAZYME 11X (alcanza para 30 m<sup>3</sup>) = **S/. 315.00**

Por lo tanto, para nuestra vía afirmada, colocando un afirmado nuevo para las siguientes dimensiones: 6.00 m de ancho, 100 m de largo y 0.20 m de espesor tenemos:

- Costo Total de Afirmado sin aditivo (Para 120 m<sup>3</sup>):  $120 \times 23.50 = \text{S/ } 2820.00$

Luego para una vía estabilizada añadiendo el aditivo PERMAZYME 11X, tenemos:

- Costo Total de Aditivo (Sabido que para 120 m<sup>3</sup> se requiere 4.00 litros):  $4.00 \text{ litros} \times \text{S/ } 315 = \text{S/ } 1260.00$

Hormigón S/. 2820 - Aditivo S/. 1260 = S/. 1260

Afirmado S/. 2820 + Aditivo S/. 1260 = S/. 4080

Finalmente diferenciando el precio de una capa de hormigón con una capa de afirmado respecto al costo del aditivo con afirmado obtenemos lo siguiente:

Afirmado y hormigón S/ 5640 – Afirmado y Aditivo S/. 4080 = S/. 1560

Por lo tanto, como pudimos observar anteriormente, el costo de ejecución de obra para nuestra vía afirmada estabilizada con PERMAZYME 11X resulta más económico que colocando un material de afirmado nuevo y una capa de subbase (hormigón); ya que como vemos el costo del aditivo solo en una capa de afirmado es mucho menos.

#### IV. CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES

- Con el trabajo de investigación realizado a lo que respecta en los ensayos en laboratorio de la muestra sin aditivo concluimos que los valores obtenidos del ensayo CBR señalados en la Tabla 11 están por debajo del rango permitido para un afirmado. Asimismo, podemos apreciar, en la Tabla 11, que los asentamientos (por la penetración - mm) del suelo requeridos por el ensayo de CBR no requieren de esfuerzos tan altos para su asentamiento inmediato.
- Con el trabajo de investigación realizado a lo que respecta en los ensayos en laboratorio de la muestra con aditivo concluimos que los valores obtenidos del ensayo CBR señalados en la Tabla 13 alcanzan estar dentro del rango permitido, mejorando las propiedades físicas y mecánicas de la muestra. Asimismo, podemos apreciar, en la tabla 14, que los asentamientos (por la penetración - mm) del suelo requeridos por el ensayo de CBR requieren de esfuerzos ligeramente altos para su asentamiento inmediato.
- Podemos concluir que al usar el aditivo Perma-zyme 11x se mejora en grandes cantidades la capacidad de soporte del tramo de la vía Maco Capac, incrementando su durabilidad, estabilizándolo y por ende reduciendo el asentamiento; y dándole mayor tiempo de vida útil; ya que los valores del ensayo CBR con aditivo están dentro del rango permitido, a comparación del ensayo CBR sin aditivo.
- Se concluyó que el costo con aditivo, en definitiva, es menor ya que no requiere de mejoramiento de la base o de adición de otro afirmado, debio a que presenta una alta capacidad de soporte de carga, en cambio el tramo al que no se le añadió el estabilizante, requiere de un nuevo material de afirmado para que pueda mejorar su capacidad de soporte de carga en caso no se utilizara el aditivo; dado que el aditivo Perma-zyme 11x mejora notablemente la resistencia del suelo, reduciendo los esfuerzos de compactación y el tiempo de la maquinaria compactadora, la cual genera menos costos en el proceso constructivo de la vía.

## V. RECOMENDACIONES

Debido a las experiencias en las diferentes estabilizaciones con PERMA ZYME 11X, se realizan algunas recomendaciones que se consideran pertinentes:

- Realizar los ensayos de laboratorio necesarios, para el diseño y para la construcción.
- Tomar la humedad presente del suelo antes de aplicar la mezcla de agua + PERMA ZYME 11X.
- Luego que el agua + PERMA ZYME 11X se mezcla con el suelo, se tiene 72 horas para dar la compactación y terminación al mismo. Si se sobrepasa este tiempo, se deberá disgregar nuevamente el suelo y reactivar la encima con una solución de 1 parte de PERMA ZYME 11X + agua y homogenizar.
- Preferiblemente no se debe trabajar bajo condiciones de lluvia, puesto que si el suelo se encuentra disgregado absorberá más agua de la necesaria y se deberá eliminar el exceso de la misma antes de aplicar PERMA ZYME 11X.
- Como ya se ha mencionado anteriormente, se deberá calcular la cantidad de agua necesaria que se debe aplicar al suelo dependiendo de la humedad óptima y de la humedad presente del mismo.
- Es importante saber la cantidad de suelo que se trabajará en la jornada, para coordinar maquinaria, volumen de agua, volumen de PERMA ZYME 11X y demás.
- Como cada suelo reacciona diferente frente a diversas exigencias y la maquinaria difiere en modelo, capacidad y demás, es conveniente realizar una curva de calibración del compactador; esto se realiza tomando referencia de la ganancia o incremento en su densidad seca máxima de suelo estabilizado contra el número de pasadas del compactador.





- Se recomienda que la primera pasada del compactador sea sin vibrar y la siguientes vibrando, en cada capa estabilizada.
  
- Cualquiera sea el método, es mejor nivelar el terreno, si es posible eliminar sobre-tamaños o contaminantes del suelo. Si durante el proceso constructivo o finalizado este, se identifican sobre-tamaños o contaminantes, es mejor eliminarlos.
  
- En lo posible, para obtener resultados mejores, el suelo se debe tratar de llevar a una granulometría o gradación similar a una base granular.

## VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Gonzales, C. & Fuentes, F. (2013) *Estabilización de suelos mediante el químico GT-24X en suelos de subrasante de la Ciudad de Concepción*. [Tesis de Titulación, Universidad del Bío-Bío].

<http://repobib.ubiobio.cl/jspui/handle/123456789/2338>

Nazario, C. (2016) *Estabilización de suelos con aditivo Perma Zyme aplicado a bases en suelos finos y granulares para pavimentos en el Departamento de Lampayeque*. [Tesis de Titulación, Universidad Señor de Sipán].

<http://repositorio.uss.edu.pe/handle/uss/3426>

Allcca, W. (s/f) *Mejoramiento de la base y subbase en pavimentos con aditivo Perma Zyme en Apurimac* [Tesis de Especialista en Vías Terrestres, Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurimac].

<https://es.scribd.com/document/433625740/william-allcca-quispe-tesis-docx>

Fernández, C & Salazar, W. (2015) *Pavimentos Estructurales Biotecnológicos de larga vida, empleando el aditivo ecológico Perma Zymen 11X en vías afirmadas y su aplicación en la pista de prueba del Instituto de Biotecnología Molecular y Reproductiva Animal IBMRA – UPAO* [Tesis de Titulación, Universidad Privada Antenor Orrego]. <https://docplayer.es/87042741-Universidad-privada-antenor-orrego.html>

Gutierrez, C. (2010) *Estabilización química de carreteras no pavimentadas en el Perú y ventajas comparativas del cloruro de magnesio (BISCHOFITA) frente al cloruro de calcio* [Tesis de Titulación, Universidad Ricardo Palma].

<https://www.coursehero.com/file/65353978/ESTABILIZACION-QUIMICA-DE-CARRETERAS-NO-PAVIMENTADAS-EN-PERUpdf/>

Vilcas, J. (2018) *Planteamiento del mejoramiento del suelo empleando relleno fluido para la construcción de los edificios multifamiliares en la obra Casa Club Recrea “Los Nogales”, distrito de El Agustino, Lima* [Tesis de Titulación,

---

Universidad Nacional Federico Villarreal].

<http://repositorio.unfv.edu.pe/bitstream/handle/UNFV/2042/VILCAS%20CARRASCO%20JESUS%20MIGUEL.pdf?sequence=1>

Del Castillo, H., & Rodriguez, R. (1974). *Geotecnia aplicada a las vías terrestres* (1.<sup>a</sup> ed.). Mexico: Limusa.

Fernandez, C. (1992). *Mejoramiento y estabilización de Suelos* (1.<sup>a</sup> ed.). México: Limusa.

(2002). *En Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes* (2.<sup>a</sup> ed., pp. 402–3–18). Ecuador.

Bowles, J. (1980). *Manual de laboratorio de suelos para Ingeniería Civil*. Bogotá: McGraw Hill.

Braja, M. (2001). *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica* (1.<sup>a</sup> ed.). México: Thompson.

Negretto, G. (2014). *Permazyme: Datos Técnicos*. Recuperado 2 de marzo de 2021, de Slideshare website: <https://es.slideshare.net/GiovanniNegretto/perma-zyme-datos-tecnicos>

Huanchaco: Información Turística. (2015). Recuperado 2 de marzo de 2020, de Conocer website: <https://conocer.com/huanchaco-peru/>

Huanchaco. (2019). Recuperado 2 de marzo de 2020, de Wikipedia website: <https://es.wikipedia.org/wiki/Huanchaco>

## VII. ANEXOS



**Figura 4: Ensayos de Laboratorio -  
Propiedades Físicas**

**Figura 5: Ensayos de Laboratorio -  
Propiedades Físicas**





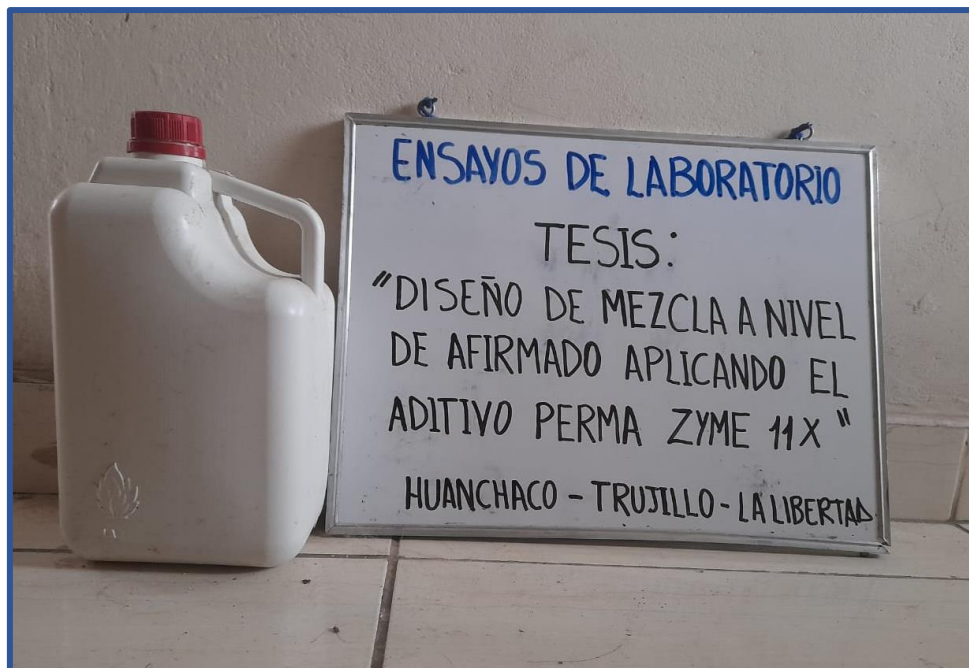
**Figura 6: Ensayos de Laboratorio -  
Propiedades Físicas**

**Figura 7: Ensayos de Laboratorio -  
Propiedades Físicas**





**Figura 8: Ensayos de Laboratorio - Proctor Modificado**



**Figura 9: Aditivo Perma – Zyme 11X**