



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

**La importancia del control de compactación aplicando
el análisis de ondas de un geófono piezoeléctrico en
subbase del pavimento - Cusco**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Civil

AUTOR:

Sotelo Álvarez, Luis Felipe

(ORCID: 0000-0003-1526-1361)

ASESOR:

Dr. Cancho Zúñiga, Gerardo Enrique

(ORCID: 0000-0002-0684-5114)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Diseño de Infraestructura Vial

LIMA – PERÚ

2021

Dedicatoria

Este trabajo va dedicado A:

Mis padres Mario y Gregoria en reconocimiento a todos sus esfuerzos para que llegue a donde estoy, con la ilusión de verme convertido en un Ingeniero Civil.

A mis hermanas Melissa y Gimena, por ser mi compañía, mi apoyo y mi fuerza para seguir adelante.

A mis tíos y tías, por brindarme su incondicional apoyo y enseñarme que como profesional tengo que dar lo mejor de mí mismo, en todos los aspectos laborales y vivenciales.

A los docentes, a quienes les debo gran parte de mis conocimientos y mi formación profesional y personal.

Con todo cariño esta tesis la dedico a todos ustedes, en muestra de que todo esfuerzo y sacrificios no fue en vano y tiene sus frutos.

Agradecimiento

Al Sr. de Chochekillka porque sin el nada de esto hubiese sido posible. A mi abuelita porque antes de partir me transmitió consejos y muchas enseñanzas para poder superar cualquier obstáculo que presenta la vida. A mis padres, Mario Sotelo Sani y Gregoria Álvarez Pereyra, que son los pilares fundamentales en mi vida, en reconocimiento a todo el esfuerzo y sacrificio puesto, para que yo pueda estudiar, se merecen esto y mucho más, su tenacidad y lucha interminable ha hecho de ellos un gran ejemplo a seguir para mí y mis hermanos.

A mis hermanas Melissa y Gimena, por ser mi compañía, mi apoyo y mi fuerza para seguir adelante. A mis tíos y tías, por brindarme su condicional apoyo y enseñarme que esta vida uno como profesional tienen que dar lo mejor de sí mismo en todos los aspectos laborales y vivenciales. Y a los docentes, a quienes les debo gran parte de mis conocimientos, gracias por prepararnos para un futuro competitivo no solo como los mejores profesionales sino como también como mejores personas.

A todos ellos, gracias por todo.

Índice de contenidos

Carátula	I
Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
Índice de contenidos	iv
Índice de tablas	v
Índice de figuras	vi
Resumen	vii
Abstract	viii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	5
III. METODOLOGÍA	41
3.1. Tipo y diseño de investigación	42
3.2. Variables y Operacionalización Variables de estudio	42
3.3. Técnica e instrumentos de recolección de datos	43
3.4. Procedimientos	44
3.5. Método de análisis de datos	49
3.6. Aspectos éticos	49
IV. RESULTADOS	50
V. DISCUSIÓN	61
VI. CONCLUSIONES	64
VII. RECOMENDACIONES	66
REFERENCIAS	67
ANEXOS	70

Índice de tablas

Tabla 1 Volúmenes de agujeros de ensayos mínimos basados en el tamaño máximo de partícula.....	26
Tabla 2 Métodos geofísicos en la práctica de la ingeniería.....	29
Tabla 3 Resultados de los ensayos CBR in situ usando el método PDC.....	51
Tabla 4 Contenido de humedad	54
Tabla 5 Análisis granulométrico por tamizado.....	54
Tabla 6 Límite líquido	56
Tabla 7 Límite de plástico	56
Tabla 8 Estándar de clasificación.....	57
Tabla 9 Ensayos de cono de arena in situ, Densidad de campo: punto 1	58
Tabla 10 Ensayos de cono de arena in situ, Densidad de campo: punto 2.....	58
Tabla 11 Ensayos de cono de arena in situ, Densidad de campo: punto 3.....	58
Tabla 12 Resumen de datos y comparación	60

Índice de figuras

Figura 1	Variación de la curva de compactación con la energía.....	13
Figura 2	Conceptualización de la curva de cero vacíos.	15
Figura 3	Fundamento de la prospección mediante sísmica de refracción.	30
Figura 4	Ondas de compresión V_p	31
Figura 5	Idealización de las ondas de corte en un suelo.	31
Figura 6	Vista de un sismograma.....	32
Figura 6	Idealización de un material piezoeléctrico.....	34
Figura 8	Propagación de ondas en un medio elástico.	35
Figura 9	Esquematización de un sensor piezoeléctrico.	40
Figura 10	Diagrama de fluidez.	56
Figura 11	Clasificación S.U.C.S.	57
Figura 12	Resultados de los sismogramas del geófono, punto 1.....	59
Figura 13	Resultados de los sismogramas del geófono, punto 2.....	59
Figura 14	Resultados de los sismogramas del geófono, punto 3.....	60

Resumen

La presente investigación tuvo como objetivo evidenciar la importancia del control de compactación en obras de pavimentación aplicando el análisis de ondas de un geofono piezoeléctrico, mediante análisis comparativo de los resultados de un cono de arena con el registro de vibraciones de la reacción de la sub rasante producido por la micro trepidación del mismo.

La metodología utilizada ha sido una de análisis comparativo de resultados de tres ensayos entre distintos puntos de una vía determinada en la zona de Urubamba de la ciudad del Cusco.

Para la realización de la presente tesis se ha hecho un resumen de los aspectos teóricos más importantes vinculados a los métodos geofísicos, en este sentido también se han tocado los aspectos teóricos de las ondas y de los sismogramas.

Como conclusión de la presente investigación de nivel exploratorio, se ha evidenciado que, mediante la ejecución de la presente investigación se ha evidenciado que las medidas de las señales de vibración del geófono piezoeléctrico han servido para determinar la correlación entre la amplitud máxima y la densidad seca de los puntos donde se realizaron los ensayos.

Palabras clave: compactación, geófono, subbase, pavimento.

Abstract

The present research aimed to demonstrate the importance of compaction control in paving works by applying the wave analysis of a piezoelectric geophone, through comparative analysis of the results of a sand cone with the recording of vibrations of the reaction of the sub flush produced by the micro trepidation of the same.

The methodology used has been a comparative analysis of the results of three trials between different points of a certain road in the Urubamba area of the city of Cusco.

In order to carry out this thesis, a summary of the most important theoretical aspects related to geophysical methods has been made, in this sense the theoretical aspects of waves and seismograms have also been touched.

As a conclusion of the present exploratory level investigation, it has been shown that, through the execution of the present investigation, it has been shown that the measurements of the vibration signals of the piezoelectric geophone have served to determine the correlation between the maximum amplitude and the dry density of the points where the tests were carried out.

Keywords: compaction, geophone, subbase, pavement

I. INTRODUCCIÓN

Para iniciar el presente trabajo de investigación, debemos tener en cuenta que la base y subbase de los pavimentos requieren un control de calidad muy detallado, por lo que la falla en la realización de dicho control, trae como consecuencia un deterioro prematuro de las estructuras de los pavimentos, para este caso en particular, tomamos en consideración la Av. Torrechayoc, Urubamba. Cabe mencionar que las pavimentaciones en el país se ejecutan con “presupuesto público”, en ese entender, la correcta ejecución y supervisión de tales obras debería garantizar el uso de estos bienes públicos en condiciones óptimas de tránsito para beneficio de la sociedad.

Durante la ejecución de las obras de pavimentación, se solicita la ejecución de controles de calidad en todas las capas del pavimento: la subrasante, la sub base, la base y la carpeta de rodadura; es de conocimiento que cuando un residente o supervisor de obra solicita “La ejecución de controles de calidad”, es el área de abastecimiento el encargado de hacer las coordinaciones con los distintos proveedores disponibles en la ciudad, para el caso de las entidades del Estado; sin embargo, dada la escasez de laboratorios y el tiempo que toma realizar el contrato de servicio, es lamentable que el control de calidad de la compactación no se realice a tiempo o no se realiza. Es preciso mencionar que la norma de pavimentos, así como las normas pertinentes del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, determina que no se puede colocar la carpeta de rodadura sin antes haber aprobado los trabajos de compactación de las capas inferiores.

Por lo cual debemos tener en cuenta que existen tres tipos de controles principales en las capas de bases de los pavimentos que son: (i) control de la compactación, que a su vez se subdivide en control del contenido de humedad y de la densidad en campo, (ii) el control de la resistencia a través de ensayos CBR y finalmente el (iii) control geométrico para garantizar la altura estructural de las capas del pavimento.

Por otro lado, referente al control de la compactación, debemos mencionar que, en el caso del control de la densidad, el método tradicional de contraste de resultados viene a ser el método de reemplazo por arena, conocido como “CONO DE ARENA”, aunque si bien es cierto, existen métodos mucho más

caros como el densímetro nuclear o también el denominado medidor a través de densidad eléctrica. Respecto del control del contenido de humedad, el cual es un parámetro crítico para alcanzar la densidad máxima seca especificada en las normas de pavimentos, es así que existen muchos métodos, sin embargo, el método patrón resulta ser el SECADO DE LA MUESTRA, a través de un horno eléctrico de tiro forzado con termostato calibrado, cabe mencionar que este ensayo demora 24 horas en reportar resultados.

Tradicionalmente “LAS TÉCNICAS GEOFÍSICAS” se han usado para determinar las propiedades dinámicas de los suelos, como por ejemplo el amortiguamiento, las constantes de muelle, la velocidad de onda que atraviesa por el suelo, así como la respuesta de sitio ante la inducción de vibraciones por sismo, etc. Sin embargo, se ha aplicado muy poco esta técnica para la inspección de calidad de la compactación en pavimentos, debido a que la adquisición de un GEOFONO PIEZOELÉCTRICO era muy costoso, sin embargo, a la fecha es mucho más accesible, ya que los fabricantes chinos de electrónica están produciendo una serie de sensores y artilugios electrónicos de bajo costo, los cuales pueden ser aprovechados por diversas ramas de la ingeniería para obtener mediciones a bajo costo.

En este sentido, la presente investigación se enfoca a ofrecer un instrumento que permita obtener los controles de calidad, con un bajo costo, acelerando el proceso de obtención de los resultados y con una exactitud adecuada, esto se logrará aplicando el análisis de ondas registradas por un GEOFONO PIEZOELÉCTRICO de muy bajo costo, el cual se usará para medir tanto la densidad como la humedad de la sub base de una pavimentación rígida en la Av. Torrechayoc, Urubamba, 2021. Por ello se ha planteado el problema general: ¿Cuál es la importancia del control de compactación aplicando el análisis de ondas de un geófono piezoelectrónico en subbase del pavimento – Cusco?, seguido de los problemas específicos: ¿Cuál es el procedimiento usando un geo fono piezoeléctrico para el control de calidad de compactación de una sub base en Cusco?, ¿En qué medida se da la confiabilidad en la determinación de la densidad de una sub base de pavimento comparando el método del cono de arena con el método del cono geo fono piezoeléctrico para el control de calidad de compactación de una sub base en Cusco?, ¿En qué medida se da la confiabilidad en la determinación de la humedad de una sub base de pavimento comparando el método del cono de arena con el método del cono geo fono piezoeléctrico para el control de calidad de compactación de una sub base en Cusco?

Con la presente investigación buscamos adquirir y contribuir a los profesionales que ejercen la Ingeniería Civil en la ciudad del Cusco, tanto residentes de obra, supervisores y proyectistas a tener un conocimiento más profundo del tema de

CONTROL DE CALIDAD DE COMPACTACIÓN y del análisis sobre el uso DE ONDAS DE UN GEOFONO PIEZOELÉCTRICO, para determinar las propiedades de compactación en sus obras, utilizando un método simple y confiable, para tener un resultado más óptimo y garantizado.

La presente investigación tuvo como objetivo general: Determinar la importancia de aplicar el análisis de ondas de un geo fono piezoeléctrico de bajo costo, en una pavimentación para el control de calidad de compactación en Cusco. Asimismo, se ha planteado los objetivos específicos: Describir y especificar el procedimiento de control de calidad de una compactación usando un geo fono piezoeléctrico de bajo costo, en una pavimentación para el control de calidad de compactación en Cusco, Determinar la densidad de una sub base de pavimento recientemente conformada a través de los métodos del cono de arena y del geo fono piezoeléctrico de bajo costo, en una pavimentación en Cusco, Determinar la humedad de una sub base de pavimento recientemente conformada a través de los métodos del cono de arena y del geo fono piezoeléctrico de bajo costo, en una pavimentación, para el control de calidad de compactación en Cusco.

Se ha planteado también para la investigación la hipótesis general: La importancia es sumamente beneficioso en la construcción al aplicar el control de calidad en la compactación de una sub base de pavimento aplicando el análisis de ondas de un geófono piezoeléctrico, para la pavimentación de Cusco, asimismo, se ha planteado las hipótesis específicas: El procedimiento de control calidad de una compactación usando geo fono piezoeléctrico tiene ventajas prácticas y económicas ya que demuestra un procedimiento sencillo, La confiabilidad de la medición de la densidad de una base de pavimento rígido por el método geofísico es mayor al 30%.

La confiabilidad de la medición del contenido de humedad de una base de pavimento rígido por el método geofísico es mayor al 70%.

II. MARCO TEÓRICO

Para la realización de este capítulo, se recopiló información de diferentes fuentes a nivel nacional como internacional, preparando la investigación a los nuevos lineamientos apuntadas por la universidad, de manera que se fundamente su credibilidad y de sustento al tema de investigación.

2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES.

A. MÉTODO Y EQUIPOS DE COMPACTACIÓN DE SUELOS. ROMERO, M. UNIVERSIDAD LA GRAN COLOMBIA, COLOMBIA (Romero, 2016)

La investigación aborda el tema de la eficacia y la compactación en la cual se puede lograr la maximización de energía en la compactación necesaria para alcanzar óptimas condiciones en el proceso de compactación del suelo, por ello es posible determinar mediante ensayos de laboratorio, aun así, mediante diferentes métodos y sistemas de compactación utilizando la presión estática dentro del campo, con el fin de determinar el nivel de humedad óptima, de acuerdo al tipo de suelo, de lado de la densificación del mismo, pues de acuerdo a la energía de la compactación. La conclusión de la investigación fue que el mayor aspecto de importancia es generar una óptima compactación, dependiendo el contenido de la humedad de los materiales utilizados. El esfuerzo de la compactación se transmite al suelo mediante la combinación de varios elementos. Considerando la presión estática, vibraciones, amasamiento, entre otros. La compactación que se usa depende del tipo de suelo que se quiera intervenir en la compactación, pues la selección de compactación debe hacerse con el cuidado pertinente tratando de lograr una adecuada efectividad en el procedimiento.

B. STUDY ON THE IMPACT OF MOISTURE CONTENT ON SUBGRADE STRENGTH; Isma Lebbe Mohamed Sabri, 2015. (Estudio del impacto del contenido de humedad en la resistencia de subrasantes)

Este estudio presenta la relación que se dan en las variables de la investigación. La función principal de la subrasante es proporcionar soporte al pavimento. La característica del suelo subrasante contiene, densidad compactada y humedad afectan significativamente el diseño del pavimento. La superficie y el drenaje subsuperficial del pavimento y de los suelos adyacentes también afectan la resistencia de la subrasante significativamente. La resistencia de la subrasante se expresa principalmente en términos de CBR. Por ejemplo, la subrasante está siempre sometida a cambios en su contenido de humedad debido a la precipitación pluvial, la acción capilar y la variabilidad del nivel de la capa freática.

El cambio la cantidad de infiltración causa genera dinamismo en la dureza de la subrasante, esto último es esencial para entender la naturaleza exacta de la dependencia de firmeza de la subrasante. En la investigación se analizó la variación de la resistencia de la subrasante con el contenido de humedad, considerando la variación de la resistencia de la subrasante con días de remojando usando Mnitab16. Por lo tanto, las diferentes muestras de suelo se probaron para su densidad de Proctor, contenido de humedad óptima, índice CBR y después de ser sumergido en agua durante 1 día, 2 días, 3 días y 4 días y sin sumergir para cada muestra.

Por tanto, entre ambos hay una interdependencia curvilínea entre las variables mencionadas. El estudio concluyó en que, al incrementar la cantidad de días que se tiene por inmersión, la firmeza de la sub base decrece a causa del incremento de contenido de humedad. La tasa de cambio en la resistencia de la sub base por cada punto porcentual del cambio de humedad comparado con los especímenes no sumergidos fue de hasta siete veces mayor que para los cuatro días de inmersión.

2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES

A. “OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE COMPACTACIÓN MEDIANTE EL CONTROL DE HUMEDAD EN PAVIMENTOS URBANOS DE HUANCAYO” (Alcoser, 2016)

La investigación fue realizada para mejorar el procedimiento de compactación en la construcción de pavimentos de zonas urbanas en el cual el contenido de la humedad basado en granulares, donde se han establecido procesos de control de contenido de humedad faltante en la base granular, con lo cual se establece la creación del Abaco pasadas de cisterna necesaria a través del control del caudal para una óptima compactación mediante recursos en las obras de pavimento en las zonas urbanas en la ciudad de Huancayo, en la cual se ha empleado de los datos formados por la máxima densidad y óptimo contenido, lo cual servirá como un parámetro, en todo el procedimiento, los ensayos realizados del contenido frente a la humedad logro cumplir con las especificaciones técnicas de la obra, seguidamente se ha determinado mediante un tramo de prueba, donde se ha sometido en el suelo granular basado en carburo de calcio para el cálculo la humedad inicial que presenta muestras del campo, seguidamente el Abaco de las especificaciones técnicas de la cisterna, lo que depende de la humedad faltante frente al caudal hallado dentro del espesor de capa y la velocidad constante, asimismo, se ha diseñado un modelo controlador de caudales útiles como complemento al Abaco en calculo, hallado en el modelo de humedad faltante con la ayuda del modelo faltante de caudal, que necesita del prototipo de Abaco, finalmente necesita de base granular. Finalmente se ha determinado un cuadro comparativo de los criterios personales frente al cálculo del estudio con el modelo del Abaco, con el fin de optimizar horas máquinas de cisterna de este modo, mejorar la utilización de los recursos en obra. Donde se concluye que el estudio responde al objetivo que a mayor control de calidad del proceso de compactación mediante el

prototipo de Abaco, se podrá evidenciar mejor resultado en la pavimentación.

B. “EFECTO DE LA ENERGÍA DE COMPACTACIÓN EN LA DENSIDAD SECA MÁXIMA Y CONTENIDO ÓPTIMO DE HUMEDAD DEL SUELO GRANULAR DE LA CANTERA EL GAVILÁN, 2015” (Chirinos, 2016)

Esta investigación tuvo como propósito analizar el material que proviene de la cantera El gavilán, para poder determinar el nivel de energía de compactación frente a la densidad seca para el óptimo contenido de humedad. En el desarrollo se ha realizado ensayos generales para poder clasificar el suelo a través del sistema AASHTO, habiendo obtenido los resultados en el ensayo realizado de granulometría, se pudo determinar que en método C del tipo de compactación Proctor modificado para el proceso de compactación, dando inicio con 56 golpes por cada capa, mediante la técnica de ASTM D-1557, llegando a los 61 golpes por cada capa, dentro de todos los ensayos. Se ha podido determinar que el material granular requerido de mayores aspectos de la energía de compactación con el fin de obtener la densidad seca máxima con el control de humedad mediante la técnica de ASTM D- 1557, obteniendo una variación de 0.97 Kg/cm² en la energía de compactación.

Ante lo expuesto se concluye que la densidad máxima seca se obtiene en 2.18GR y el óptimo contenido de humedad 3.5% obtenido en 28.24Kg de energía en el proceso de compactación en el transcurso de aumentar los golpes de energía dentro de la humedad seca máxima. Demostrando que la hipótesis planteada fue correcta.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1 Control de calidad.

El diccionario Oxford define la calidad como algún nivel de excelencia. Por otro lado, la sociedad americana de estándares (ansi) y la sociedad americana de control de calidad la definen como: “la cantidad total de los caracteres y especificaciones de un producto o servicio que son capaces de satisfacer alguna necesidad dada”; en este sentido la calidad puede ser definida en muchas maneras, dependiendo de quién la define y para qué producto o servicio está

relacionada.

La calidad de las obras civiles por lo general está especificada en el documento técnico denominado expediente técnico, el cual determina las especificaciones técnicas de construcción y el programa mínimo de vigilancia de que los materiales cumplan con estándares de calidad y métodos, está enfocado con las pavimentaciones.

Montgomery define las siguientes dimensiones de la calidad: desempeño relacionado a que si el producto cumplirá el trabajo para el cual ha sido diseñado, confiabilidad que tiene que ver con cuan a menudo falla el producto; la durabilidad vinculada a cuánto dura el producto; la serviciabilidad determinada por cuan fácil es la reparación del producto; la estética, es decir, como luce el producto; las características que son las funciones que hace el producto; la calidad percibida vinculada a la reputación; y finalmente, la conformidad con estándares que quiere decir que si el producto ha sido fabricado exactamente como lo diseño su creador.

En este sentido las obras de pavimentación poseen todas estas dimensiones de calidad veamos: en cuanto a su desempeño los pavimentos deberían permitir un tránsito cómodo y fluido; en tanto su confiabilidad se requiere que un pavimento no falle dentro de los límites del tránsito que soportará y en el horizonte de duración de su vida útil; respecto de la durabilidad, se presume que un pavimento debe terminar con un nivel de servicio adecuado al tiempo en que presta servicios; respecto de la serviciabilidad, de presentarse algún fallo en el pavimento por causas ajenas al diseño y la construcción la reparación debería ser lograda de forma fácil; respecto de la estética del pavimento este también cumple una función urbanística y durante las noches cumple la función de reflejar la luz artificial para así mejorar la visión de los conductores y de esta manera mitigar posibles accidentes. Por otro lado, los pavimentos son diseñados y construidos para ofrecer incluso mayor comodidad de tránsito a los usuarios esto

está referido a sus prestaciones; la calidad percibida de un pavimento está juzgada por los usuarios y la sociedad en general al tener que transitarlos. Finalmente, la conformidad con estándares es la dimensión más requerida en la construcción de pavimentos y esto está referido a vincular las especificaciones técnicas con la obra materializada, en este sentido se espera que, legalmente hablando, la construcción de un pavimento cumpla con su expediente técnico.

2.2.2 Teoría de la compactación.

Un reporte de la U Católica de Valparaíso y de su escuela de ingeniería de construcción determina los siguientes aspectos de la teoría de compactación.

En principio el suelo es un material de construcción utilizado por la ingeniería civil por su fácil disponibilidad y por su economía, en cuanto a las obras viales se utiliza en caminos, terraplenes, presas y otras obras civiles las cuales como se ha establecido en la sección previa, requieren de un control de calidad, dado que los resultados del alejamiento de una supervisión son el comportamiento no deseado de la estructura del pavimento que se muestra a través de asentamientos y sus incidencias.

Por lo tanto, la compactación del suelo es un procedimiento técnico mediante el cual se aplica energía al suelo con el objetivo de eliminar los espacios vacíos y de esta manera incrementar su densidad, al hacerlo, sus propiedades mecánicas como el soporte de CBR y su estabilidad ante las deformaciones se incrementa trayendo todas estas características como consecuencia una mejora de las propiedades de ingeniería del suelo.

Por lo tanto, se pueden citar como ventajas de la compactación de un suelo que logra superar las capacidades de resistencia y reduce los asentamientos y a su vez reducir la permeabilidad. Por otro lado, la compactación también permite reducir esponjamientos y posteriores

daños debido a heladas.

Entre los métodos de compactación utilizados actualmente por la ingeniería civil se pueden mencionar: El compactar de manera estática e incluirle presión, logrando todo ello sin movimiento vibratorio.

- Compactación por impacto, la cual es lograda, por ejemplo, cuando se emplean placas apisonadoras que generan la el alejamiento del suelo a rapidez
- Asimismo, está la compactación por vibración que aplica al suelo golpes a una alta frecuencia, esto por ejemplo lo realizan las planchas vibratorias o los rodillos vibratorios autopropulsados.
- Para el caso de suelos cohesivos se tiene la compactación por amasado, la máquina por excelencia se emplea en el trabajo el rodillo pata de cabra.

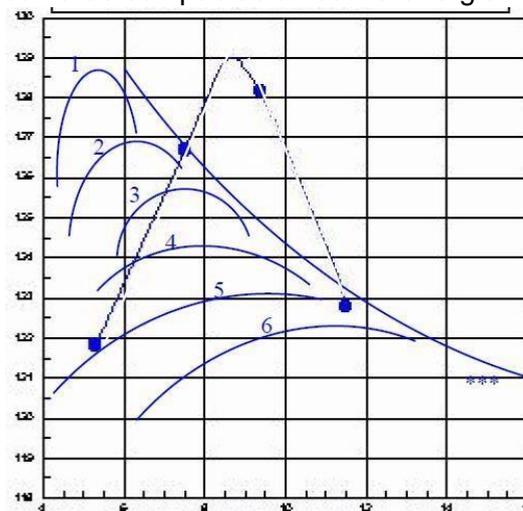
Si hablamos de los ensayos de laboratorio para determinar las propiedades de densificación del suelo tenemos que hablar de los ensayos de Proctor, y de los ensayos de densidad relativa.

Respecto de la teoría de compactación tenemos al mencionado autor en líneas anteriores que emplea diversas categorías que tienen efecto en la compactación en un suelo, a saber: el peso unitario seco, el contenido de humedad, el tipo de suelo y la energía de compactación. Asimismo, definió dimensiones que perturban al momento de la compactación como son: el metro de compactación, la humedad natural del suelo al comenzar el proceso de compactación, la distribución de la humedad en la masa de suelo, la temperatura, la existencia o no de un proceso de re compactación y finalmente el número y espesor de capas con que se realiza la compactación.

De acuerdo a la teoría de Proctor y basado en los ensayos se tiene que, con una adecuada cantidad de infiltración, el suelo alcanza a su nivel superior, cada vez que se emplea un conjunto determinado de

energía permitiendo que esta composición sea denominada densidad máxima seca al 100% de la compactación Proctor. Igualmente, para una densidad máxima se define una humedad óptima. Las curvas de compactación del suelo tienen distintas formas según el tipo de suelo que se compacta, a continuación, se aprecia algunos ejemplos de dichas curvas.

Figura 1
Variación de la curva de compactación con la energía.



Fuente: Das, 2010.

1. Arena arcillosa bien distribuida
2. Arcilla arenosa bien distribuida
3. Arcilla arenosa con distribución mediana
4. Arcilla arenosa con limo
5. Limo
6. Arcilla pesada (insensible a la humedad).

Para poder determinar tanto el volumen óptimo de humedecimiento como la consistencia máxima seca, existen dos pruebas en laboratorio la prueba de Proctor estándar y la de Proctor modificado, estas pruebas consisten en preparar distintas mezclas de un mismo suelo con diferentes proporciones de agua y aplicarles una energía dinámica a través de la caída de una pieza, para luego determinar su peso que a su vez nos dará la consistencia y el nivel de higrometría

En cuanto a las pruebas para obtener la densidad del suelo en el campo

la más usada es la del cono de arena en la cual escarba un agujero con un volumen aproximado de 2500 cm³, se pesa el suelo extraído, se determina el contenido de humedad y con la ayuda del cono de arena el cual funciona reemplazando el suelo extraído se determina el volumen del agujero irregular excavado; con todo este procedimiento se determina la densidad de campo se la contrasta contra el ensayo de Proctor en laboratorio.

Otra de las pruebas usualmente utilizadas para designar la densidad en campo de un suelo es el método del densímetro nuclear, el cual además de ser costoso tanto en términos económicos como en términos ambientales y riesgoso para la salud del operario tiene cada vez menos difusión.

2.2.3 Control de calidad en obras de compactación.

Para empezar, durante la selección de los materiales y en miras a su aceptación o rechazo se suelen tener los siguientes ensayos en una compactación:

- Granulometría
- Límites de consistencia
- Humedad
- Desgaste de los Ángeles
- C.B.R (Proctor o D.R)

Ya una vez estando en la fase de ejecución es conveniente realizar los siguientes ensayos in situ:

- Densidad In-Situ
- Proctor o D.R
- C.B.R

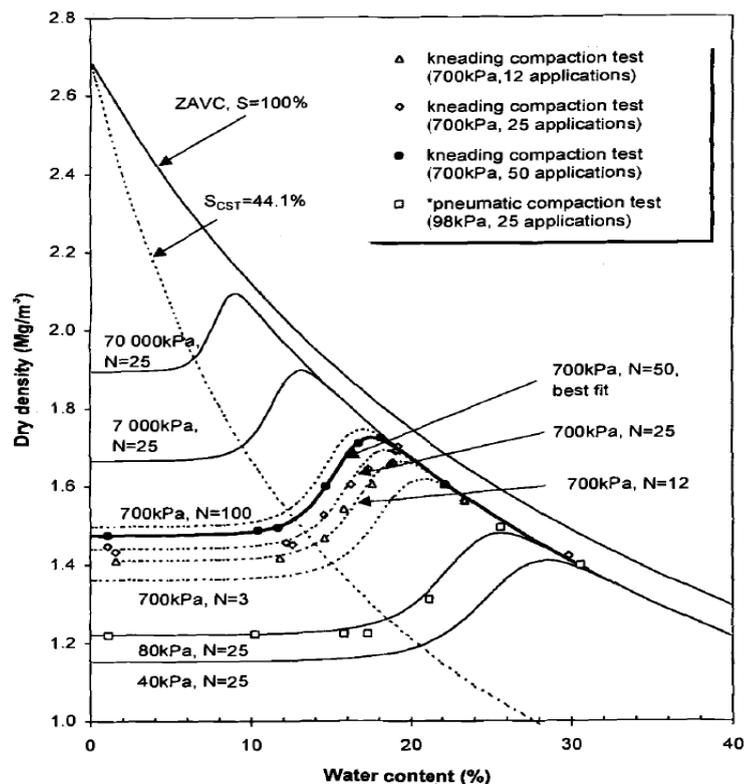
Finalmente, con miras a la recepción final de la obra y la comprobación de las propiedades mecánicas de la conformación terminada se suelen requerir los siguientes ensayos:

- Placa de carga
- C.P.T

2.2.4 Concepto de familias de curvas de compactación.

Al realizar una compactación se obtiene una curva de compactación específica para una energía determinada, si compartimos un mismo suelo con distintas energías, es posible hallar una familia de curvas de compactación las cuales si bien comparten el mismo suelo difieren en la energía mecánica que han recibido y por lo tanto difieren en la densidad máxima seca y el contenido óptimo de humedad reportados; cabe mencionar que como es lógico, a mayor energía mayor es la densidad máxima seca reportada, sin embargo, el límite de todas las densidades suele ser la curva denominada de cero vacíos ZAVC, en la siguiente figura se aprecia lo descrito.

Figura 2
Conceptualización de la curva de cero vacíos.



Fuente: Das 2016.

2.2.5 Diseño de pavimentos.

Una base de pavimentaciones es una capa que forma parte de la estructura del mismo, por Concepción es la que mayor parte de los esfuerzos que se producen durante el tránsito de los vehículos recibe. La capa denominada base de pavimento recibe por encima de la última

capa denominada carpeta de rodadura, esta última en el caso de los pavimentos flexibles tiene menos capacidad de carga aun cuando está fabricada de material friccional, esto se debe a la falta de un confinamiento estructural. Una capa de base de pavimento por lo general necesita de algún otro tipo de tratamiento o mejoramiento frecuentemente denominado estabilización, lo cual le permite resistir mejor las cargas de tránsito sin distorsionarse fuera de los límites establecidos por el diseño de pavimento. Una función adicional de una base de pavimento es transmitir los esfuerzos a las capas profundas.

2.2.6. Procedimiento para el ensayo de densidad de campo.

Cuando pretende hacer lecturas para conocer cuál es la densidad en el suelo, se emplean técnicas, sin embargo, las más requeridas por la precisión que tienen son:

Método del Cono de Arena (ASTM D 1556).

Método del Globo de Hule (ASTM D 2167).

Método del Densímetro Nuclear (ASTM D 2922 Y D 3017).

El procedimiento que se requiere es el del Cono de Arena el cual tiene particularidades ya que es distinguido por velocidad, fiabilidad y por último su practicidad. Muchos laboratoristas consideran que existen otros métodos con mayor precisión, pero estos suelen ser más fiables si la realización es hecha por expertos.

Para medir la consistencia originaria del suelo se inicia con la división de la masa dentro del volumen que la sostiene es así que se podrá desarrollar un mejor calculo que lograra identificar el volumen que este tiene en el interior del terreno.

El instrumento que se manipula para este método es un depósito circular el cual tiene en la parte final un piso similar al embudo es ahí que se ubica la válvula que controlara el flujo de la arena de calibración que se tiene en el depósito.

A través de esta herramienta y el arrancamiento del suelo por medio de un perímetro circular fijo, se logra conocer la cantidad pesaje que son requeridos al momento del cálculo de densidad. Es transcendental que la persona encargada de laboratorio pueda elaborar el examen solo así se tendrá la precisión deseada que evitara datos equivocados.

La preparación usual es conseguir el peso del suelo húmedo (P_{hum}), alcanzado por medio de una limitada excavación iniciada en la parte superior del suelo y del volumen que es la capa compactada. Así que, se adquiere el volumen del mencionado orificio, de esta manera la densidad de filtración del suelo está ligada de la siguiente forma:

$$PUH = \frac{P_{hum}}{Vol.Extraido}$$

La forma que determina la densidad seca, se suele recurrir a identificar el contenido de humedad del material extraído (w) y se ejemplifica:

$$PUS = \frac{PUH}{1+w}$$

El método del Globo de Hule, es una técnica que logra la velocidad y practicidad. Los expertos indican que para obtener resultados más fiables es necesario tener considerable precaución y exactitud durante la realización de la práctica especialmente en la extracción del suelo.

El artefacto empleado es conocido en el mundo con su nombre en inglés de "voluvessel" este artefacto tiene un embace circular de vidrio, que esta graduada, en el interior del embace se agrega un globo de latex, para tener estabilidad se acudirá a un plato de metal.

Con la realización de la prueba es conocer la densidad del suelo que se dará con muestras de material, se iniciará con la apertura de un orificio circular que luego se proseguirá a llenar empleando el globo de látex estará lleno de agua es así que podrá medir el volumen. Precisamente se logrará conocer la masa sustraída fraccionando adentro del volumen de agua que envuelve la abertura.

El primer elemento que influye para cometer errores en esta práctica de laboratorio es dejar de lado la exactitud con la que se debe realizar el orificio en el suelo, por lo que este tendrá un volumen similar.

El Método del Densímetro Nuclear tiene características complejas de operatividad porque se utiliza diversos elementos radiactivos, y si estos no tienen el manejo indicado se podría generar perjuicios severos en la persona que está manipulando.

Las ventajas que brinda la utilización de este método es la exactitud en la toma de lectura. Se concluye que dentro de los métodos descritos el que proyecta la exactitud de los datos en densidad. Este método está fundamentado en la intersección de rayos gamma que proviene la de radioactividad y los electrones de las órbitas externas de los átomos del suelo, estos son captados a través de un detector gamma que está posicionado a una distancia reducida de la fuente emisora. La lectura de la intensidad de la radiación es convertida a medida de densidad húmeda por medio de una curva de calibración adecuada del equipo.

Se emplea tres pasos elementales para la realización, que se procederá a desarrollar:

Retro dispersión

Transmisión directa Colchón de aire

Otros métodos

Hay diversos métodos que no se utilizan para poder determinar la densidad sin embargo algunos de estos suelen ajustarse de mejor manera a circunstancias del suelo. Por ese acudirán a ejemplos donde la extensión de agregados se empleará estos métodos, para ello mencionará los posteriores casos:

Método del Densímetro de Membrana.

Método del Cono Gigante.

Método mediante bloques.

Método del Densímetro de Membrana.

Estos métodos suelen ser aplicados a suelo donde existe una superioridad de agregados que suelen ser grava media y gruesa. Por ello el último método que se enumera se suele colocar un anillo metálico el cual tiene un diámetro que se aproxima a dos metros, luego se excava todo el material que cubre el perímetro del anillo el cual tiene una depresión de 30 cm. Cuando se termina de sacar todo el material, se procederá a ubicar un fragmento de plástico este se deberá adaptar en el interior del anillo y al fondo de la grava. El fragmento se llenará con líquido, se continuará a tomar la lectura del volumen que cubrirá la cavidad el cual será similar al del volumen obtenido. Es así que se encontrara el peso individual dividiendo el peso del material obtenido que se encontrara al interior del volumen el cual se inspecciona en la membrana.

227 Descripción de la determinación de la densidad de campo por el método del cono de arena

La siguiente es una transcripción completa de la norma pertinente:

A continuación, se hace una transcripción literal de la norma ASTM D 1556, se ha optado por hacer la transcripción literal debido a que, es una norma internacional y que cualquier cambio en los términos de su especificación puede llevar a una variación sustancial de la ejecución del ensayo.

- ASTM D 1556: Standard Test Method of Density and Unit Weight of Soil in Place by the Sand Cone Method

Para la utilización de ensayo se maneja la densidad y el peso individual que se da en el suelo utilizando un dispositivo en cono de arena. Este método solo se podrá aplicar a suelos que no tengan enormes cantidades de rocas o agregado grueso el mínimo es de 1½ pulgadas de diámetro. El material de estudio deberá contar con la atracción o relación de partículas que puedan mantener la estabilidad de las paredes de los agujeros pequeños esto será con el objetivo ser firme es así que podrá aguantar presiones inferiores que pueden ser aprovechadas para la

excavación y es así que tendrá el soporte al momento de colocar el dispositivo del cono de arena sin perder la forma. El cono de arena no se puede ejecutar en suelos orgánicos que estén atiborrados o que tenga un elevado nivel plástico ya que este produce imperfección al momento. Cuando los materiales destinados a los ensayos contienen cantidades apreciables de partículas mayores a 1½ pulgadas (38mm), o cuando el volumen del agujero es mayor de 0.1 pie³, las normas aplicables entonces son:

- ASTM D4914-08: Standard Test Methods for Density and Unit Weight of Soil and Rock in Place by the Sand Replacement Method in a Test Pit.
 - ASTM D 5030-04: Standard Test Method for Density of Soil and Rock in Place by the Water Replacement Method in a Test Pit.
- de realizar la excavación de la abertura en el ensayo.

Es así que este método llega a cubrir y medir la determinación de la densidad del material de suelo y rocas donde se usara líquido y arena las cuales tienen como propósito llenar el pozo revestido y determinar el volumen del pozo en prueba tomando en cuenta rocas mayores de 3 pulgadas.

Descripción del ensayo.

Se realizará una perforación el cual será excavado a mano en la superficie luego el material que fue sacado será guardado en un depósito, inmediatamente la perforación que se realizó será cubierta con arena fina que permitirá que transcurra fácilmente, la arena utilizada comúnmente se denomina: arena Ottawa. Y subsiguientemente la cantidad obtenida será determinada, la densidad húmeda de campo del suelo es determinada por la división de la masa húmeda del material extraído entre el volumen del agujero.

El método del cono de arena es frecuentemente empleado para conocer los parámetros que son aceptables de una densidad determinada o con una proporción elevada de densidad, en suelos compactados. Es así que este método también lo utilizan con la intención de determinar la

densidad dentro de campos naturales que este contenga material, agregados u otros similares.

Para que este método pueda ser usado debe con cumplir con algunos requisitos que entre ellos el más importante es la de suelos no saturados. Por ello no se recomienda que estos suelos sean débiles o tenga una ligera imperfección o que tenga infiltración ya que podrá ocurrir que el agua filtre al momento de realizar el agujero.

La exactitud que debe tener la prueba estará libre de deformaciones que produzcan cambios en la cantidad de la perforación y esto será a causa de los movimientos vibratorios que son procedentes por numerosos escenarios entre ello el transitar el paso de equipos de edificación que estos pasen a corta distancia del lugar, es así que se recomienda el alejamiento o distanciamiento de estos elementos exteriores que puedan dañar la prueba.

El cono de arena está constituido por elementos como un envase de cristal o plástico que pueda tolerar el contenido que este sea superior al total demandado es así que se llenara la abertura a excavar, este tendrá las medidas de 3,785 cm³ de cabida. El envase estará incorporado a un embudo que también se unirá a la válvula que contará con un agujero el tendrá las medidas aproximadas de ½ pulgada. (13mm) de trazo, unida a otro embudo de metal con las medidas deseadas como se simulo en la prueba, por ejemplo, se manipulará un embudo de metal de 4" y la capa de base tendrá 6 pulgadas de diámetro.

Consideraciones generales del equipo.

La válvula del equipo deberá estar construida para que realice paradas así se podrá evitar que esta continúe girando cuando se intente parar el flujo de arena. El embudo estará elaborado de metal adecuadamente duro es así que se evitara imperfecciones, es por ello que los muros del cono se encontraran a 60° de la base que permitirá un relleno de la

arenilla uniformemente, este embudo tiene el nombre comercial de “Picnómetro”.

El instrumento del cono de arena quede estabilizado empleando una base o bandeja de metal que tenga las orillas biseladas y tenga un orificio en la parte central que servirá para adecuar la herramienta con la base utilizada. La base deberá tener una forma cuadrada y contará con las medidas mínimas de 3” (75 mm) el cual deberá ser más extenso que del cono metálico, tendrá una base lisa en la parte inferior. Para poder cubrir el orificio se deberá emplear la arena que estará libre de impurezas y seca esta tendrá consistencia similar, graduada, no cementante, duradero así mismo su amplitud permitirá tener mayor fluidez. La graduación será ejecutada con un coeficiente de similitud ($C_u = D_{60}/D_{10}$) inferior a 2, con una dimensión superior de partícula de 2 mm que estará determinado por el tamiz No. 10; y baja del 3 % del peso que pase el tamiz No. 60.

La arena que se manipula para las pruebas deberá tener las partículas redondeadas, por lo que otro tipo de material tendría numerosos ejes y ángulos, el cual no permitiría tener un libre tránsito del material manipulado esto dificultaría en gran medida los procedimientos, dado resultados inexactos. Esta arena tendrá las medidas de 2 mm de diámetro, que contenga fluidez, nombrada arena Ottawa, esta pasa a través del tamiz No. 20 (0.085 mm) y se inmoviliza en el tamiz No. 30 (0.606 mm), luego la arena pasará por un lavado y consecutivamente a un secado en horno en temperaturas de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$.

Normalmente se requiere de una báscula para establecer el peso de los materiales extraídos, de igual manera en los picnómetros, la báscula

deberá tener el tonelaje 35 lb la cual contará con una sensibilidad de 0.01 lb.

Ahora se desarrollará otra forma de prueba en el cual se utiliza el tamiz No. $\frac{3}{4}$ (19 mm), este tiene la utilidad de excluir o desaparecer partículas que llegan a obstruir los resultados esperados es por ello que se analiza si verdaderamente puede ser aplicable a esta prueba o se recomienda manejar otras pruebas.

Existen otros elementos que contribuyen a la limpieza, excave y la reserva de materiales, etc. Que se procederá a mencionar.

Martillo, cuchara, cincel, brocha.

Bandejas metálicas para guardar material del suelo

Cuando se requiere conocer cuál es el porcentaje de humedad en suelo se hace uso de una herramienta de nombre "Speedy". Esta herramienta tiene características propias de ellas, contando con una cámara circular de presión la cual está unida de un manómetro balanza, carburo de calcio, medidor del carburo de calcio, esferas de acero de 1 centímetro de diámetro, y su equipo de limpieza. El aparato se rige por las normas ASTM D 4944-04 y AASHTO T-217.

Calibración del cono de arena.

La calibración del aparato es algo vital para el impulso de cualquiera que sea el ensayo, este brindara datos que sean precisos, es por eso que sirven las categorías que contribuyan a la calibración del ensayo.

Calibración del aparato de cono de arena

La masa de arena contenida en el aparato del cono de arena y el plato base son dependientes de las acumulaciones de densidad de la arena. Por lo tanto, este procedimiento de calibración se debe realizar para cada aparato cuando se encuentren cambios en las acumulaciones de densidad de la arena. La calibración del aparato puede ser ejecutada por medio de 2 métodos principales:

Mediante la determinación de la masa de arena calibrada que puede ser contenida en ambos, el embudo y el plato base.

Mediante la determinación del volumen de la arena necesaria para llenar cada embudo y plato base; y aplicando este volumen constante siempre cuando nuevas acumulaciones en la densidad de la arena son calculadas.

Método A del ensayo:

Se llena el aparato con arena que fue secada previamente y condicionada al mismo estado anticipado durante el uso en el ensayo. Posteriormente se determina la masa del aparato cuando está lleno de arena.

Se coloca el plato base en una superficie limpia, nivelada y plana. Después se invierte el aparato y se asienta el embudo en el centro de la hendidura del agujero en el centro del plato base. Se marca e identifica el aparato y el plato base en su posición para que de esa manera el mismo aparato y plato base encajen y puedan ser colocados en la misma posición durante el ensayo.

Se abre la válvula completamente hasta que el salida de arena se detenga, asegurándose que el aparato, plato base o superficie plana no vibren antes que la válvula sea cerrada. Se cierra la válvula de una manera cortante, se remueve el aparato y se determina la masa del aparato y el restante de arena.

Se duplica el mismo procedimiento al menos 3 veces. La máxima variación entre cualquier determinación y el promedio no debe rebasar en 1 %. Se usa el promedio de las 3 determinaciones para este valor en los cálculos del ensayo.

Método B:

En este método se establece la masa de arena que se necesita para que el embudo y el plato se pueda llenar, seguidamente se vuelven a seguir los pasos del método A.

Se determina el volumen de la base del plato y el embudo dividiendo el acopio de densidad de la arena entre a masa determinada calculada en el paso 5 en el método A. Se ejecutan a lo más 3 cálculos para llegar a un valor promedio. La mayor variación de volumen sobre el cálculo y el promedio no debe ser mayor al 1%. Para la determinación del ensayo se utiliza este promedio.

Procedimiento

Para el área de ensayo se escoge la localidad que sea elevada y representativo. Debe medir alrededor de 50 cm de lado. Se revisa el aparato del cono de arena de daños, rotaciones flojas de la válvula, y que se ajusta perfectamente en el plato base. Luego el frasco contenedor debe ser llenado por arena Ottawa.

Se alista el área de la localidad que será ensayado para que pueda estar limpia y nivelada. Para poder aplanar y que se haga liso la superficie plana se debe utilizar como herramienta el plato base, donde se debe tomar en cuenta de que debe de haber contacto con la superficie del suelo en torno a la orilla del agujero del plato base. Luego para verificar el movimiento en el momento del ensayo se debe marcar el contorno del agujero del plato y por si fuera poco se debe asegurar el plato contra el movimiento utilizando clavos que deben colocar en el suelo adyacente al plato por el perímetro sin perturbar el suelo que será ensayado.

Cuando la nivelación del suelo a ensayar no es lo suficiente, en otras palabras, no se llega a tener una superficie exactamente plana y permanecen espacios en el suelo, el volumen está conectado de manera

horizontal con el embudo, plato y superficie del suelo debe ser calculado antes del ensayo. Por lo cual el espacio se llena con la arena del aparato, se calcula la masa de arena que se utilizó para poder llenar el espacio, y nuevamente se llena el aparato para calcular otra masa inicial del aparato y la arena antes de realizar el ensayo.

El mayor tamaño que viene a ser el máximo de partícula del suelo a ensayar del cual depende el volumen del agujero del ensayo. En la tabla siguiente se presentan los volúmenes del agujero, que sirven para indicar que los agujeros del ensayo no deben menores a estas ya que están basados al tamaño máximo de la partícula. La unidad de medida con el cual están expresadas los tamaños máximos de partícula son pulgadas y milímetros, y cm³ y pie³ expresan el valor mínimo de los agujeros en el ensayo.

Tabla 1

Volúmenes de agujeros de ensayos mínimos basados en el tamaño máximo de partícula.

Tamaño máximo de partícula		Volumen mínimo del agujero del ensayo		Cantidad de muestra para contenido de humedad
Pulg.	Mm	cm ³	pie ³	g
½	12,7	1415	0,05	250
1	25,4	2125	0,075	500
1 ½	38	2830	0,1	750

Fuente: ASTM.

Por primera vez se obtiene el peso el aparato de cono, sin derramar ni un grano de arena por la válvula, se le designa "Picnómetro 1" a este peso. El plato base de agujero se debe limpiar y voltear el aparato de cono de arena sobre el plato de tal manera que quede ajustada la boca del embudo con la circunferencia del plato.

Se debe de tener precaución con aquellas vibraciones que pueden suceder que pueden ser causados por las personas cuando se mueven o caminan o por el movimiento de algún equipo que este cerca. La válvula se abre y dejar que la arena fluya hasta que esté lleno el embudo y el contorno del plato base evitando cuando este fluyendo la arena y se tapa la válvula hasta tener la certeza que a arena deje de fluir.

Después se calcula el peso del aparato con la arena que sobro, se pesa en la balanza lo cual se denomina “Picnómetro 2”. La arena se remueve, se deposita y se deposita en una bandeja.

El agujero del ensayo se excava a través del agujero del plato base, evitando que surjan las deformaciones en el suelo que puedan alterar el agujero. El contorno del agujero debe de inclinarse suavemente hacia adentro el fondo tiene que ser relativamente cóncava o plano. Tiene que dejarse libre el agujero lomas que se pueda para evitar las imperfecciones y dificultades.

Así como la arena los suelos escasean de cohesión, bien son suelos muy granulados donde se necesita tener cuidado cuando se realizan las excavaciones para ello es necesario que se excave en forma cónica.

El suelo que fue extraído del agujero se tiene pasar por el tamiz numero $\frac{3}{4}$ (19mm) para que luego se pueda pesar teniendo así el peso de húmedo. Si el contenido no pasa por el tamiz se devuelve.

En el paso 9 se sigue el mismo procedimiento, la diferencia es que se deja que el agujero, el plato base y el embudo del aparato se llene por que se deja la arena que fluya hasta suceda eso, de tal manera se cierra la válvula así de esta manera se toma en cuenta otra lectura de la masa del aparato con la sobrante de la arena el cual se denomina “Picnómetro 3”. Después se le separa la arena pretendiendo recuperar la mayor posible y a superficie se limpia utilizando una brocha.

En el cálculo del contenido de la humedad, se tiene que adquiere una muestra de 5g del suelo que está húmedo el cual se extrajo y paso por el tamiz numero $\frac{3}{4}$ el cual se introduce dentro del aparato “Speedy” adyacente con 5 g de carburo de calcio y se tienen que mover por mucho rato hasta que el manómetro deje de aumentar el porcentaje de contenido de humedad, y el mayor será el dato que ve a utilizar para calcular con los datos de la tabla que proveen cada equipo individual.

Cálculos generales

Para calcular la densidad en el campo haciendo uso del método del cono de arena, para ello se siguen los siguientes cálculos, teniendo en claro los criterios trazados en el problema:

Definir el peso de la arena en el embudo: $P_{ae} =$

Picnómetro 1 – Picnómetro 2

Determinación del peso de arena para llenar el embudo y el agujero:

$P_{ae} + ag =$ Picnómetro 2 – Picnómetro 3

Determinación del peso de la arena en el agujero. Se resta el peso de la arena en el embudo más el agujero $P_{ae} + ag$, con el peso de la arena en el embudo P_{ae} :

$P_a = (P_{ae} + ag) - P_{ae} = (\text{Pic 2} - \text{Pic 3}) - (\text{Pic 1} - \text{Pic 2})$

Determinación del volumen del agujero. Se divide el peso de la arena en el agujero P_a dentro del peso específico de la arena calibrada Ottawa

$$\text{Volumen} = \frac{P_a}{\text{Peso Unitario Arena Calibrada Ottawa}}$$

Para concluir, se determina el porcentaje de compactación, por medio de las siguientes fórmulas:

$$\text{PUH} = \frac{\text{Peso Neto Humedo del material extraido}}{\text{Volumen del agujero}}$$

$$\text{PUScampo} = \frac{P.U.H.}{100 + \% \text{ de Humedad}} \times 100$$

$$\%C = \frac{P.U.S.\text{campo}}{P.U.S.\text{laboratorio}} \times 100$$

Es necesario calcular el porcentaje de compactación del área de trabajo, debido a que con ese mismo se puede verificar si a compactación fue la correcta o incorrecta. En conclusión, para los laboristas este es el dato de mayor importancia para que pueda controlar la densidad em campo.

2.2.8. Métodos geofísicos.

A continuación, se resumen los métodos geofísicos más populares, tal como los describe Alfonso Álvarez en su publicación: "geofísica aplicada en los proyectos básicos de ingeniería civil".

Tabla 2

Métodos geofísicos en la práctica de la ingeniería.

Método	Campo de Fuerza	Propiedad Físico o Química
Magnético	campo de fuerza magnético	permeabilidad magnética
Gravimétrico	campo de fuerza gravífico	densidad, gravitrones
Eléctrico	campos eléctricos natural y artificial	potenciales REDOX, conductividad eléctrica
Sísmico	campo artificial creado por las ondas sísmicas	densidad, elasticidad
Radiométrico	radiación radioactiva	radioactividad, emisión de partículas eléctricas cargadas desde el núcleo de átomos de materiales radioactivos
Geotérmico	gradiente de temperatura terrestre	conductividad térmica
Geoquímico	asenso y descenso de soluciones	contenido de minerales de la tierra

Fuente: Álvarez, 2003.

2.2.9. Prospección sismológica, sondeos sísmicos de refracción

La sismología es el método geofísico con mejor resolución, ya que brindan relevante información a través de las ondas generadas ya sea por un evento sísmico o por un evento artificial (explosión).

Propagación de las ondas elásticas en un medio.

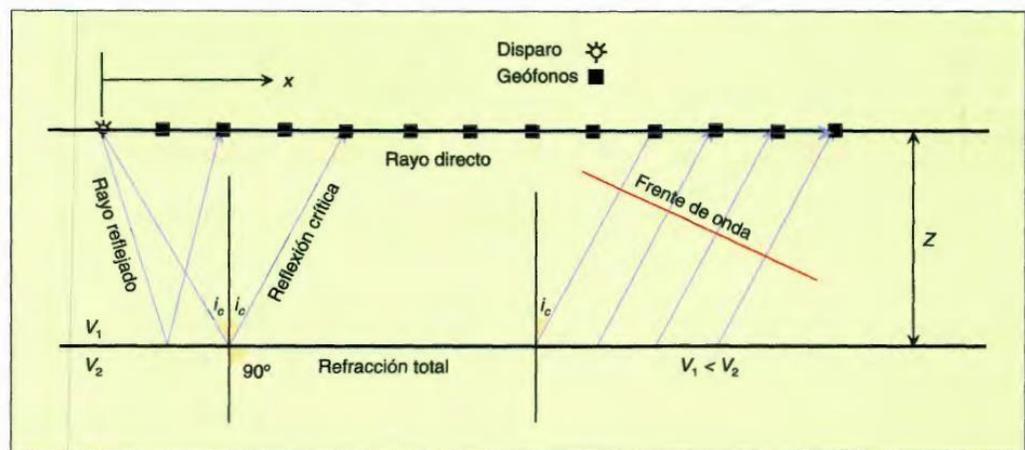
El movimiento ondulatorio tiene sus bases en dos principios fundamentales: el de Huyghens y el de Fermat, el primero establece que todo frente de onda se comportará como un nuevo generador de ondas, mientras que el segundo determina que todo movimiento ondulatorio entre dos puntos debe seguir un tiempo mínimo para encontrar su trayectoria. Cabe mencionar que ambos conceptos están íntimamente relacionados por las teorías de ondas y trayectorias y es en estos últimos en los que se basa la exploración sísmica.

Se define como un frente de onda a aquel lugar geométrico en el cual tienen un mismo estado de vibración todos los puntos, en otras palabras, tienen el mismo tiempo de viaje; mientras que, la trayectoria indica tanto el sentido como la dirección de la propagación del movimiento ondulatorio, se establece que la trayectoria siempre será perpendicular al frente de onda.

Las técnicas de refracción y reflexión sísmica surgieron a raíz de observar el fenómeno por el cual algunas ondas elásticas dentro del medio en que se propagan son redactadas y otras son reflejadas.

Figura 3

Fundamento de la prospección mediante sísmica de refracción.



Fuente: Gonzales de Vallejo, 2004.

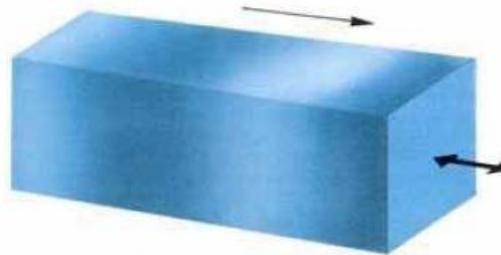
Tipos de ondas sísmicas.

Cuando a algún medio homogéneo se le somete a un esfuerzo, se generan tres tipos de pulsos elásticos que viajan en todas las direcciones cada uno con distinta velocidad; se puede distinguir a las ondas de cuerpo, que son dos, las cuales se propagan en forma de frentes esféricos; una tercera es la onda de superficie la cual está confinada y cuya amplitud de cada de forma rápida en tanto se propaguen el cuerpo y con la profundidad; las ondas de cuerpo se dividen en primarias o compresión y corte o transversales.

Ondas de compresión.

Este tipo de ondas poseen velocidades más altas y llegan antes que ninguna otra, se propagan tanto en la superficie como en el subsuelo, para un mayor entendimiento se propone el siguiente esquema reproducido del artículo de Álvarez.

Figura 4
Ondas de compresión V_p

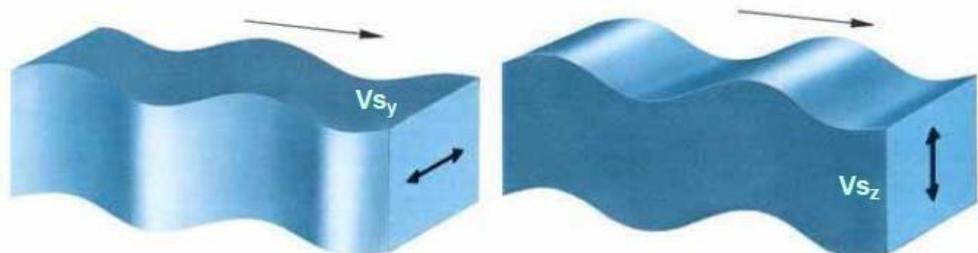


Fuente: Sarria, 1995.

Ondas de corte.

Son también ondas de cuerpo, aunque con la diferencia de que ésta se propaga en trayectorias perpendiculares a las anteriormente descritas. Se tiene establecido que las ondas de corte no se pueden propagar en los fluidos. Un esquema de tales ondas se muestra a continuación.

Figura 5
Idealización de las ondas de corte en un suelo.



Fuente: Álvarez 2003.

Ondas Rayleigh.

Éstas son un tipo de ondas superficiales que son mucho más lentas y cuya propagación se da de una forma de mayor complejidad que las ondas de cuerpo. Su tiempo de propagación suele ser menor alcanzando

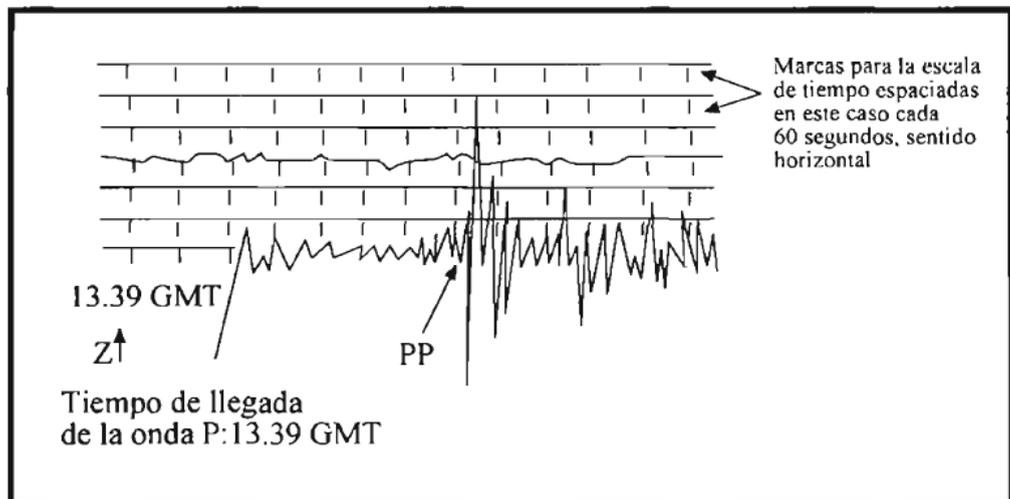
hasta un 20% de las ondas Vs. Son de baja frecuencia y se dividen en ondas tipo Rayleigh y ondas tipo Love.

Sismogramas.

Sarria, 1995, Define a un sismo grama como un registro gráfico recogido por un instrumento que las detecta y que está colocado en el sitio de paso de las ondas sísmicas, el instrumento que produce sismo grama más se denomina sismógrafo. En un sismo grama se pueden identificar los momentos de arribo de las ondas diferentes y también las llamadas fases de las cuales se abrió en el ítem anterior.

A continuación, se aprecia la vista de un sismo gran del sismo registrado en Nueva Guinea.

Figura 6
Vista de un sismograma.



Fuente: Sarria, 1995.

Los sismos más tradicionales se registraban en papel ahumado mediante una aguja que al rasparlo le hace una huella, actualmente existen sismo gran más cuyo registro es digital.

Instrumentos para medir aceleración.

Hernández, 2004, describe que existe una serie de instrumentos de medición del movimiento, especialmente de la vibración mecánica entre

ellos cita a los transductores de desplazamiento, actualmente utilizados en los geófonos piezoeléctricos que utilizan la técnica de Eddy. Los encargados los llamados traductores de velocidad realizan cálculos de baja y media frecuencia y sirven para el monitoreo y la vibración de máquinas rotativos. Los transductores de aceleración o acelerómetros, utilizados para la detección de movimientos y la supervisión de la aceleración son útiles tanto en alta como en baja frecuencia pudiendo encontrarse comercialmente en una gran gama de productos, son muy utilizados en la medición de vibraciones.

Los geófonos piezoeléctricos son preferidos por lo siguiente:

Se pueden utilizar en un amplio intervalo de frecuencias.

Tienen una buena linealidad que alcanza un amplio intervalo dinámico.

Proporcionan datos acerca de la velocidad y del desplazamiento ya que tienen la señal de aceleración integrada.

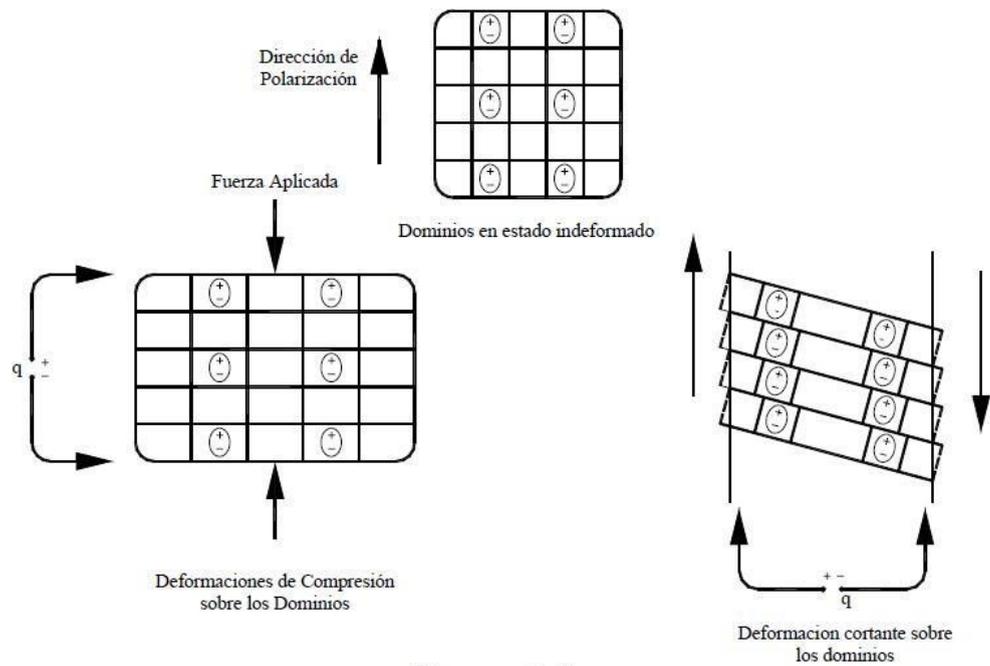
Es posible medir con estos equipos en una vasta variedad de condiciones ambientales, sin que por esto pierda su apreciable exactitud. Ya que no tienen partes mecánicas móviles su durabilidad es alta.

Su construcción permite equipos compactos y una buena relación sensibilidad/masa.

Materiales piezoeléctricos de los geófonos.

Hernández, 2004, también define a los materiales piezoeléctricos como aquellos capaces de desarrollar una carga eléctrica cuando están sujetos a una fuerza. Básicamente son mono cristales piezoeléctricos como el cuarzo y la sal de Rochelle, a continuación, se reproduce un modelo simple de un material piezoeléctrico.

Figura 7
Idealización de un material piezoeléctrico.



Fuente Hernández, 2004.

Conforme se aprecia, un material fotoeléctrico al ser sometido a una fuerza aplicada ejerce deformaciones de compresión sobre los dominios que una vez eliminada la fuerza retorna a un estado india formado, este fenómeno también se puede dar en cortante.

Aceleró metros piezoeléctricos típicos.

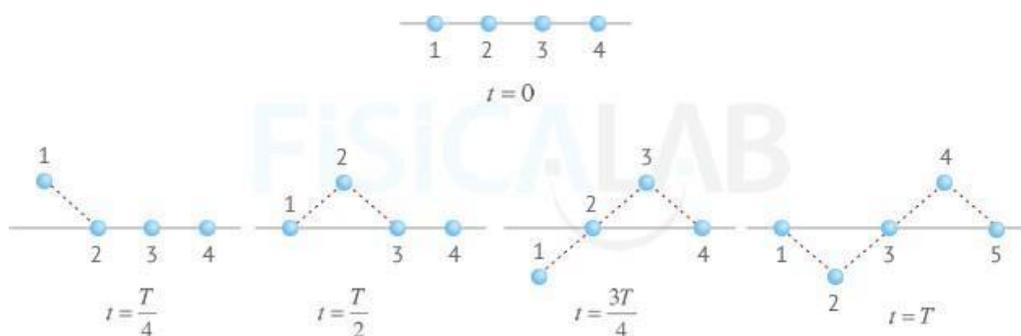
Básicamente se determinan de tipo cortante Delta, el cual tiene tres elementos piezoeléctricos y tres masas en configuración triangular con un poste central. Tipo cortante plano, semejante al Delta, pero capaz de ser sometido a cortante. Compresión montada al centro, es el más tradicional y de simple construcción el sistema piezoeléctrico masa resorte se monta sobre un poste central cilíndrico sujeto a la base del acelerómetro, esta disposición lo hace sensible a cambios dinámicos como expansión térmica generando lecturas erróneas.

Las ondas mecánicas.

Según el portal FisicaLab.com de acuerdo a la clase de energía que se propaga se puede tipificar las ondas en dos inmensos grupos los cuales vienen a ser ondas electromagnéticas y ondas mecánicas, la segunda se caracteriza por requerir de un medio material para que se pueda propagar es por ello que también lo llaman ondas materiales. Se tiene como ejemplos como son el sonido, la onda que se propaga por encima de un estanque sucede también cuando se agita un resorte o una cuerda.

Figura 8

Propagación de ondas en un medio elástico.



Fuente: Fisicalab.com

2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.

2.3.1. Calidad.

Grado en que un producto cumple las especificaciones de diseño.

- Es la agrupación de propiedades ingénitas a una cosa que posibilita valorarla y caracterizarla con alusión a los demás de su especie. “buena y mala calidad” es de una calidad excelente esta fruta.
- Excelencia o superioridad de alguien o de algo. “una mercancía de calidad; un tema de calidad, la calidad de vino de Mendoza ha ocupado de los mercados (Fuente: DRAE).

2.3.2. Compactación.

Técnica de la construcción de bases y sus bases de pavimento que consiste en eliminar los espacios vacíos de una masa de suelo a través de propinarle energía mecánica. Es la densificación del suelo por medios mecánicos. El objetivo, mejorar la resistencia y estabilidad volumétrica, afectando la permeabilidad, como consecuencia del proceso de densificación de la masa, también llamada estabilización mecánica del suelo por expulsión del aire contenido en él.

El término “compactación” proviene de sustantivar el adjetivo “compacto” que provienen del latín “compactus” que es el participio pasivo de “compigire” que significa juntar. Para comprender sobre la compactación de los suelos que en otras palabras significa que es el mejoramiento artificial de sus propiedades mecánicas y de la resistencia. La compresibilidad y su relación entre esfuerzo y deformación Implica más o menos rápido la compactación de los vacíos, los cuales causan las alteraciones del volumen, que están relacionados con la pérdida del volumen del aire.

El objetivo principal de una compactación es obtener un suelo estructurado que mantenga y posee un comportamiento mecánico correcto a través de toda la vida útil de la obra. Las características adecuadas a través pueden alterarse de acuerdo al tipo de suelo, sin embargo, aquellas propiedades que ya se mencionaron anteriormente son los que se toman en cuenta que siempre se busca su mejoramiento. Es con menor frecuencia, pero no es la menos importante el cual se debe compactar para tener como resultado la flexibilidad y permeabilidad. El cual trae efectos favorables de permanencia de la estructura terrea con las acciones de agentes erosivos. El compacto es el resultado de un proceso de objetivos variados los cuáles seguramente se contradecirán en aquellos problemas concretos, cuando se pretenda cumplir con uno, pero perjudicarán a otro. Ejemplo en una compactación intensa origina un material con mucha resistencia, sin embargo, es muy débil al agrietamiento. Estos hechos de contradicción se amplían si se considera a los suelos compactados con una vida extensa y es compromiso que conserven sus propiedades a lo largo de su vida, así

como bajo la acción del agua, de las cargas soportadas, etc. Aquellas resistencias altas que son resultados de aquellas compactaciones enérgicas pueden generar consecuencias de un suelo muy compactado absorberá una cantidad mayor de agua si se dan las condiciones propicias y por la alta resistencia podrá bajar drásticamente, sin embargo, ese mismo suelo que no fue compactado débilmente con menor resistencia inicial podrá ser resistente y estable al agua, teniendo a lo largo del tiempo menor resistencia que al anterior pero lo mas probable sea lo necesario, Desde el principio del problema de la compactación siempre este ligado a la calidad de los trabajos de campo, como resultado del proceso de compactación es importante verificar si con ello se logro los objetivos que se pretendía.

Para la medición de la compresibilidad, la resistencia, la permeabilidad o flexibilidad y la relación esfuerzo y deformación se necesitan realizar las pruebas relativamente especializadas y costosas y para su ejecución se necesitan un tiempo largo para que se pueda dar un control del proceso de la compactación normal. A los inicios de la aplicación de las técnicas de compactación afirmaron que existía una correlación que se considero confiable de las propiedades fundamentales que se mencionaron y el peso volumétrico seco al cual llega el material compactado. Debido a que es fácil o sencillo de realizar la prueba del peso volumétrico por lo cual ya era una costumbre controlar la compactación determinado el peso volumétrico seco de los materiales compactados.

2.3.3. Subbase de pavimento.

En el caso de los pavimentos rígidos es la capa subyacente de material seleccionado compactado que soporta el vaciado de concreto.

En ingeniería de transporte, la subrasante es el material nativo debajo de un camino construido, pavimento o vía férrea. También se llama nivel de formación. El término también puede referirse al material importado que se ha utilizado para construir un terraplén.

La resistencia de una sub base generalmente depende de dos factores:

Primero, la capacidad de carga. La subrasante debe ser capaz de soportar cargas transmitidas desde la estructura del pavimento. Esta capacidad de carga a menudo se ve afectada por el grado de compactación, el contenido de humedad y el tipo de suelo. Una subrasante que puede soportar una gran cantidad de carga sin deformación excesiva se considera buena.

Segundo, los cambios de volumen. La mayoría de los suelos experimentan una cierta cantidad de cambio de volumen cuando se exponen a humedad excesiva o condiciones de congelación. Algunos suelos arcillosos se encogen y se hinchan dependiendo de su contenido de humedad, mientras que los suelos con finos excesivos pueden ser susceptibles a las heladas en las zonas de congelación, especialmente en la Isla Grande, puede presentar problemas de cambio de volumen.

2.3.4. Onda mecánica.

Es toda aquella perturbación que viaja por un material o sustancia que es el medio de la onda, las partículas constitutivas sufren desplazamientos de varios tipos, siendo que el viaje se denomina propagación o rapidez de onda.

Las ondas vienen a ser aquel fenómeno natural importante y común. Como son las ondas de choque, las ondas de presión, las ondas en el agua, como también las ondas de sonido son ejemplos comunes sobre ondas.

El tema del fenómeno ondulatorio es un tema de investigación por años remotos, que se ha convertido en una interrogante controversial de la historia de la historia de la ciencia, la naturaleza corpuscular y ondulatoria de la luz.

Isaac Newton de hecho, uso sus conocimientos sobre las propiedades ondulatorios para robustecer y sustentar que la luz no era una onda. Su error fue que no podía medir de las ondas que eran demasiados pequeños visibles de la luz, y también porque no había logrado la relación e interacción que existía de la luz con la materia

No se había logrado hasta que Thomas Young realizó sus experimentos de doble rendija el cual varió el paradigma, el cual se transformó en un modelo ondulatorio o de partículas, el mismo modelo que fue apoyado posteriormente por la descripción matemática de la luz realizada por James Clerk Maxwell.

Pero la teoría realizada por Maxwell no era la correcta al cual le llamo "cuerpo negro. A inicios del siglo XX aparece Max Planck con su teoría "cuanto de luz" el mismo que tiene energía proporcional a la frecuencia el cual explico de manera correcta la radiación del "cuerpo negro".

De igual manera Albert Einstein consideró una teoría corpuscular de la luz para explicar el efecto fotoeléctrico. Aproximadamente 20 años después Louis de Broglie obtuvo una prueba matemática que compara la longitud de onda de una onda, con el ímpetu (cantidad de movimiento lineal) de una partícula. En este proceso él dio una explicación confiable de la suposición de Bohr acerca de que los electrones de los átomos sólo podían existir en determinadas órbitas.

Posteriormente, en un refinamiento de esta idea, Erwin Schrödinger desarrolló el modelo de nubes electrónicas del átomo. Finalmente, la dualidad onda partícula para toda la materia se manifiesta en el llamado "Principio de Incertidumbre" de Heisenberg y en la hipótesis de Broglie.

2.3.5. Geo fono piezoeléctrico.

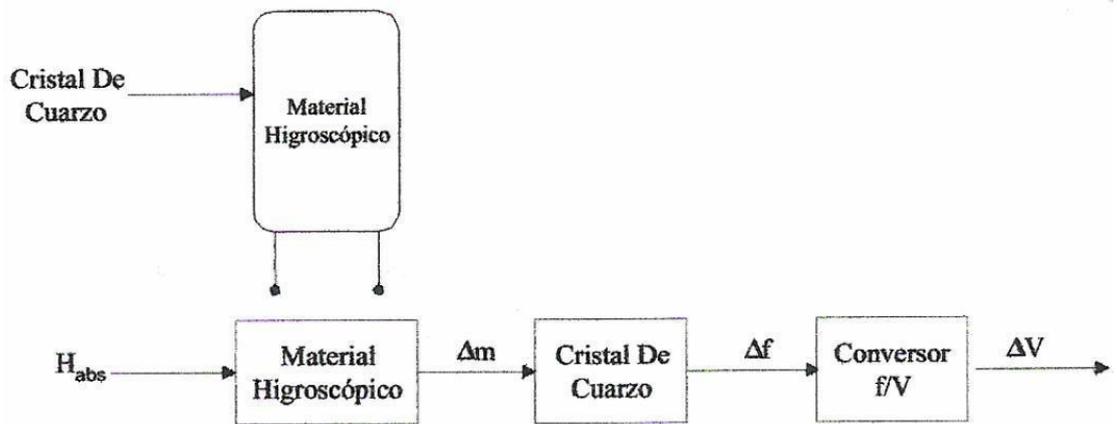
Es un instrumento electrónico basado en un material piezoeléctrico capaz de detectar los movimientos más pequeños recibiendo las señales de onda y transformándolas a señales matemáticas para poder analizarlas.

Un sensor es un dispositivo que detecta, o sensa manifestaciones de cualidades o fenómenos físicos, como la energía, velocidad, aceleración, tamaño, cantidad, etc. Muchos los sensores son eléctricos o electrónicos, aunque existen otros tipos. Un sensor es un tipo de transductor que

transforma la magnitud que se quiere medir, en otra, que facilita su medida. Pueden ser de indicación directa (un termómetro de mercurio, por ejemplo) o pueden estar conectados a un indicador (posiblemente a través de un convertidor analógico a digital, un computador y un display) de modo que los valores censados puedan ser leídos por un humano.

Figura 9

Esquematación de un sensor piezoeléctrico.



SENSOR PIEZOELÉCTRICOS⁴³

Fuente: Fernández 2005.

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

Tipo de Investigación: aplicada, cuantitativa de nivel correlacional.

Diseño de Investigación: no experimental.

Con la finalidad de alcanzar los objetivos de la presente tesis se plantea la ejecución de ensayos de laboratorio y ensayos de campo para caracterizar las propiedades mecánicas del suelo constitutivo de una vía en plena pavimentación, dentro de los ensayos de laboratorio se plantea la clasificación del suelo, el ensayo de Proctor modificado, el ensayo de gravedad específica de los sólidos. Para el caso de los ensayos de campo se determina que serán hechos a través del método del cono de arena seis puntos de la vía obteniéndose la densidad húmeda, la densidad seca y recolectando muestras para la obtención del contenido de humedad. Para el caso del análisis de las ondas se recogerá la medición de la micro trepidación en cada punto antes de hacer el ensayo de cono de arena.

El análisis de las ondas de micro trepidación se hará a través del software Mac-la para detectar las principales características de la onda y así correlacionarlas tanto con la densidad como con la humedad determinadas por el ensayo tradicional del cono de arena.

Se recurrirá al análisis de los periodogramas registrados por el geo fono a fin de tener una expresión numérica con la cual contrastar tanto la densidad seca de campo como el contenido de humedad.

Una vez obtenidas ambas mediciones se hará una correlación no paramétrica, esto en mérito a que no se están utilizando más de 30 muestras por el costo de los ensayos.

Para hallar el vínculo entre las mediciones del método clásico y las mediciones del geo fono se tomará en cuenta la correlación de Spearman.

3.2. Variables y Operacionalización Variables de estudio

- Control de compactación.
- Geófono piezoeléctrico.

3.3.1. Operacionalización de variables

Variable	Dimensiones	Indicadores	Metodología
VARIABLE INDEPENDIENTE: Análisis de ondas de un geófono piezoeléctrico de bajo costo.	Control de calidad	Densidad de campo in situ	METODOLOGIA El método empleado para la investigación es de tipo deductivo, analítico cuantitativo. El tipo de investigación es exploratoria.
VARIABLE DEPENDIENTE: Control de calidad en la compactación.	Análisis de ondas	Promedio de amplitud de onda	El diseño experimental muestra conveniencia. es con por

Fuente: Elaboración propia

Población, muestra y muestreo

Población: Debido a que, no se pretenden generalizar los resultados de la presente investigación, no se hace necesario delimitar una población de estudio.

Muestra: La muestra ha sido elegida por conveniencia y se trata de la vía materia de estudio en la que se realizaron los ensayos.

Unidad de análisis: Es cada punto de ensayo ubicado sobre la base de la vía en la cual se hicieron los ensayos.

3.3. Técnica e instrumentos de recolección de datos

Técnicas: Pulido (2015), resalta que, un enfoque cuantitativo se ejecuta la observación, dado que, es esta es una de las técnicas más fundamentales, además esta cuenta con dos tipos; observación sistemática y observación participante. La observación sistemática se refiere a la recolección de datos en base a acciones o comportamientos determinados, permitiendo que el investigador pueda observar lo sucedido sin que este intervenga de forma directa en el proceso, sin embargo, en la observación participante se interactúa en el suceso que se observa (p. 1149). En ese contexto, se puede indicar que la presente investigación es cuantitativa, la misma que empleará la técnica de la observación sistemática; dado que, los ensayos que se realizarán serán en los puntos predeterminados de la vía.

Instrumentos de Recolección de datos: Niño (2011). Señala que, los instrumentos de recolección de datos, son las fichas técnicas que serán ejecutadas por el investigador. Además “un instrumento de recolección de datos es en comienzo, un medio de viabilidad, el cual el indagador puede valerse con el fin de tener una aproximación a los datos anómalos y poder extraer de estas, la debida pesquisa”. Por ello, el detalle en cuanto al asunto está transmitida por el término de utilización o propósito: la cual podría ser distinto medio, no obstante, la finalidad es extraer la información de la realidad estudiada (p. 86). Esto da entender, que el instrumento sirve para que el investigador pueda recolectar los datos necesarios para la investigación, y pueda lograr el objetivo determinado.

3.4. Procedimientos

La secuencia de procesos para la obtención de datos se puede resumir en:

- Ubicación de los puntos sobre la vía.
- Ejecución del ensayo de CBR en la superficie muestreada.
- Ejecución del ensayo de cono de arena en los puntos elegidos.
- Toma de datos con el geófono en los mismos puntos elegidos para el cono de arena.

PANEL FOTOGRAFICO

1º- En la imagen se aprecia la Av. Torrechayoc donde se llevara a cabo el trabajo de campo.



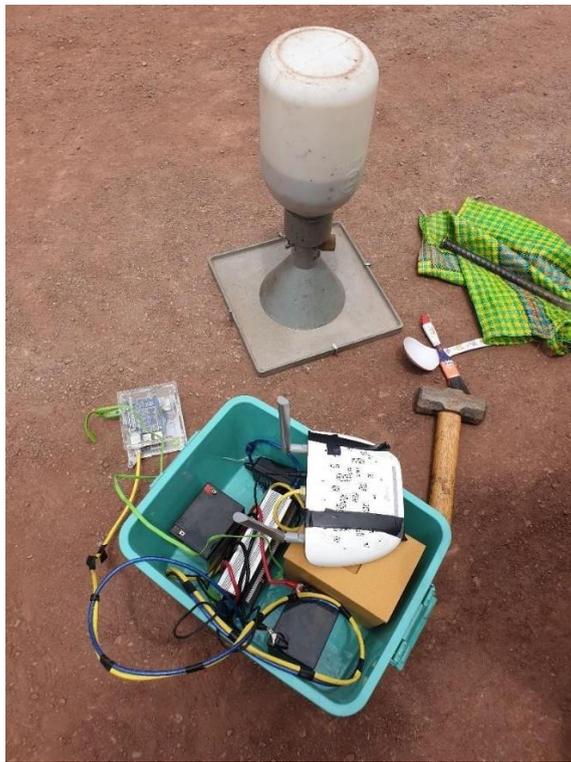
2º- En la imagen se aprecia la toma de muestra con el cono de arena para posteriormente llevarlo a laboratorio.





3º- En la imagen se aprecia la instalación y conexión del GEOFONO PIEZOELECTRONICO para poder obtener lecturas de compactación de la pavimentación.





4º- En la imagen se observa que los materiales recogidos en campo son estudiados en el laboratorio.



3.5. Método de análisis de datos

Para que el vigente tema tenga un desarrollo de resultados y redacción de datos ordenados se opta por usar el siguiente procedimiento de estudio:

- **Recopilación de la información:** En esta parte se realiza la recolección de toda la información de campo, bibliográfica, laboratorio u observación directa necesaria para el avance y desarrollo de la investigación.
- **Trabajos en campo:** Esta etapa comprende la parte de los trabajos “In Situ” o campo, como son la recolección de las conchas de abanico.
- **Etapas de gabinete:** En esta sección se realiza el procesamiento de datos e información relevante obtenidos de las diferentes etapas previas de la investigación.

3.6. Aspectos éticos

Para que la presente investigación tenga un valor óptimo y confiable, se fundamentó la información obtenida de manera global, de la mano con la base moral, tales como el respeto y la honestidad; debido que se aún no se realizó ninguna manipulación, cual indique los verdaderos resultados.

RESPECTO: El respeto es uno de los valores morales más fundamentales del ser humano, de manera que, si lo plasmamos en el aspecto académico de esta investigación, influiremos este valor con las fuentes de información obtenidas a través de los créditos otorgados por medio de las referencias bibliográficas.

HONESTIDAD: La honestidad hace referencia a un conjunto de atributos personales; tales como sinceridad, rectitud, veracidad y justicia; De manera que, como se mencionó el anterior valor, se tendrán datos verdaderos de fuentes confiables, así como, de fuente propia, respetando las bases normativas.

IV. RESULTADOS

Resultados de los ensayos CBR in situ usando el método PDC.

Para el caso de la determinación del CBR in situ se ejecutaron 24 auscultación es con el instrumento PDC, el resumen de las ocultaciones se aprecia en la siguiente tabla.

Tabla 3

Resultados de los ensayos CBR in situ usando el método PDC.

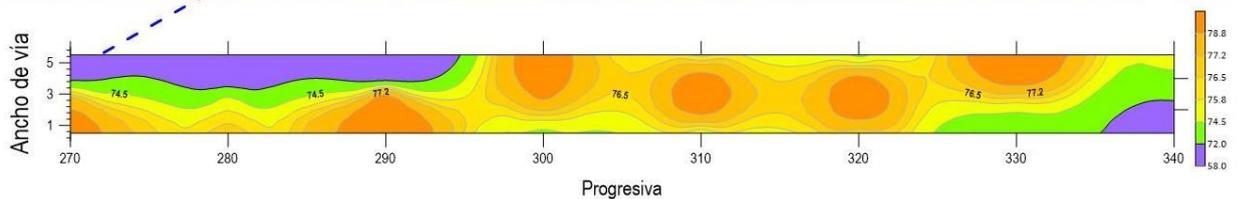
X	Y	CBR
270. 0	5. 5	44.0
270. 0	3. 0	88.2
270. 0	0. 5	85.3
280. 0	5. 5	41.7
280. 0	3. 0	85.3
280. 0	0. 5	77.5
290. 0	5. 5	28.6
290. 0	3. 0	100. 0
290. 0	0. 5	85.3
300. 0	5. 5	85.3
300. 0	3. 0	85.3
300. 0	0. 5	70.0
310. 0	5. 5	68.7
310. 0	3. 0	100. 0
310. 0	0. 5	67.7
320. 0	5. 5	65.5
320. 0	3. 0	100. 0
320. 0	0. 5	71.2
330. 0	5. 5	100. 0
330. 0	3. 0	73.6
330. 0	0. 5	69.6
340. 0	5. 5	76.6
340. 0	3. 0	75.9

0	0	
340.	0.	58.6
0	5	

Fuente: elaboración propia

Una vez procesados los valores se hizo una interpolación simple para determinar la distribución superficial de la resistencia CBR en la vía, el resultado se aprecia a continuación.

CBR in situ Av. Torrechayoc - Urubamba; método ASTM D6951 - 7/ENE/2020



Conforme se aprecia, el CBR in situ está entre los valores de 72% y 78.8% en la mayor parte del área auscultada. Sin embargo, existen dos zonas con un bajo CBR: la primera al lado izquierdo de la fotografía entre las progresivas 270 y 295 esta zona coincide con la intersección de la calle frente al banco; la segunda zona de bajo CBR está a la altura de la progresiva 340 al final de la calle y a mano derecha.

Clasificación del suelo de la vía.

Con respectivos ensayos de granulometría y límites de consistencia se procedió a determinar la clasificación del suelo, este proceso se muestra en las siguientes tablas.

**CONTENIDO DE HUMEDAD
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO**

ASTM D2216
ASTM D422

CODIGO
Tesis Felipe Sotelo

Tabla 4
Contenido de humedad

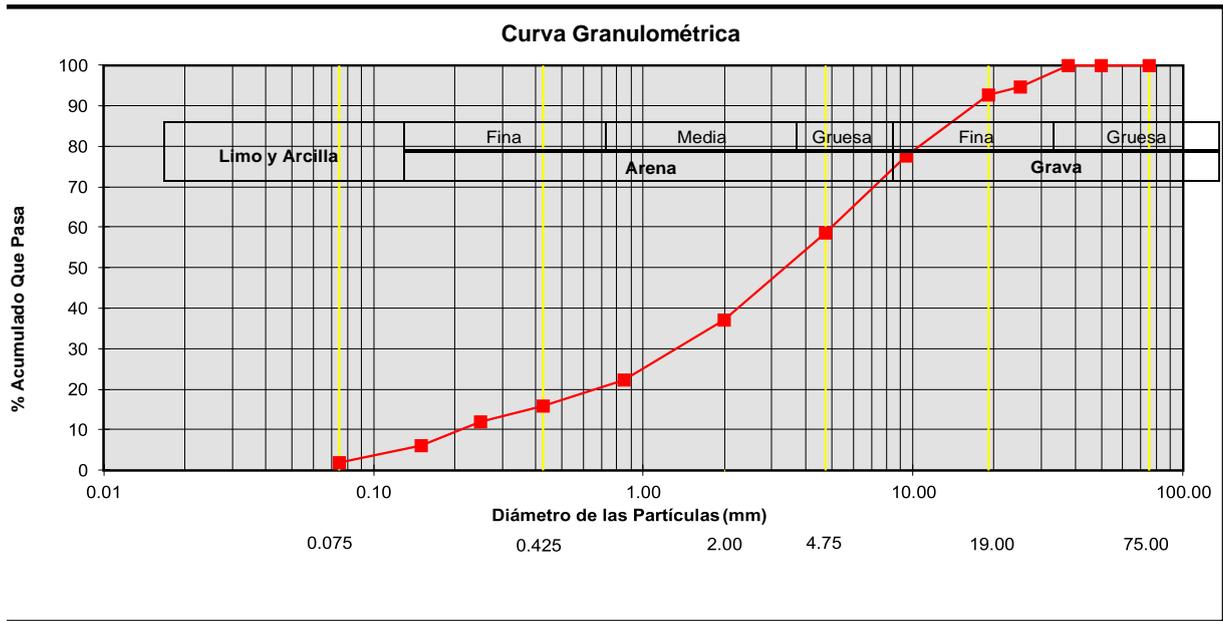
CONTENIDO DE HUMEDAD (ω)		
1	No recipiente	E012
2	W recipiente (gr)	0.00
3	W recipiente sw (gr)	1928.00
4	W recipiente s (gr)	1928.00
5	W w : 3-4 (gr)	0.00
6	W s : 4-2 (gr)	1928.00
7	$\omega : 100*5/6$ (%)	0.00

Tabla 5
Análisis granulométrico por tamizado.

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO		
8	W recipiente s (lavado) (gr)	1928.00
9	W s (lavado) : 8-2 (gr)	1928.00
10	W s fino (platillo) (gr)	36.00
11	W Total Parcial Retenido (gr)	1936.00
12	$\Delta W : 9-11$ (gr)	-8.00
13	W s fino (total) : [6-(11-10)-12] (gr)	36.00
14	% finos : $100*13/6$ (%)	1.87
15	Error : $100*12/9$ (%)	-0.41

D10	(mm)	0.21
D30	(mm)	1.33
D60	(mm)	5.01
Cu = D60/D10		23.48
Cc = $D30^2/(D10*D60)$		1.66

Tamiz		Peso Parcial Retenido	Peso Parcial Retenido Corregido	% Parcial Retenido	% Acumulado Retenido	% Acumulado Que Pasa
-	(mm)	(gr)	(gr)	(%)	(%)	(%)
3"	75.000	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
2"	50.000	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	37.500	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25.000	104.00	104.00	5.39	5.39	94.61
3/4"	19.000	34.00	34.00	1.76	7.16	92.84
3/8"	09.500	292.00	292.00	15.15	22.30	77.70
No 004	04.750	370.00	370.00	19.19	41.49	58.51
No 010	02.000	424.00	416.00	21.58	63.07	36.93
No 020	00.850	282.00	282.00	14.63	77.70	22.30
No 040	00.425	126.00	126.00	6.54	84.23	15.77
No 060	00.250	76.00	76.00	3.94	88.17	11.83
No 100	00.150	114.00	114.00	5.91	94.09	5.91
No 200	00.075	78.00	78.00	4.05	98.13	1.87
Platillo		36.00	36.00	1.87	100.00	0.00
Total		1936.00	1928.00	100.00	-	-



LIMITE LIQUIDO
 LIMITE PLASTICO
 LIMITE DE CONTRACCION

ASTM D4318
 ASTM D4318
 ASTM D427

CODIGO
 Tesis Felipe Sotelo

Tabla 6
 Limite liquido

No DE ENSAYO	1	2	3	4
LIMITE LIQUIDO (LL)				
1 No recipiente	A14	A18	W2	
2 No golpes	23	39	9	
3 W recipiente (gr)	10.50	11.20	10.90	
4 W recipiente sw (gr)	28.70	26.80	46.70	
5 W recipiente s (gr)	25.60	24.40	39.70	
6 W w : 4-5 (gr)	3.10	2.40	7.00	0.00
7 W s : 5-3 (gr)	15.10	13.20	28.80	0.00
8 ω : 100*6/7 (%)	20.53	18.18	24.31	#iDIV/0!
9 LL (%)				20.70

Figura 10
 Diagrama de fluidez.

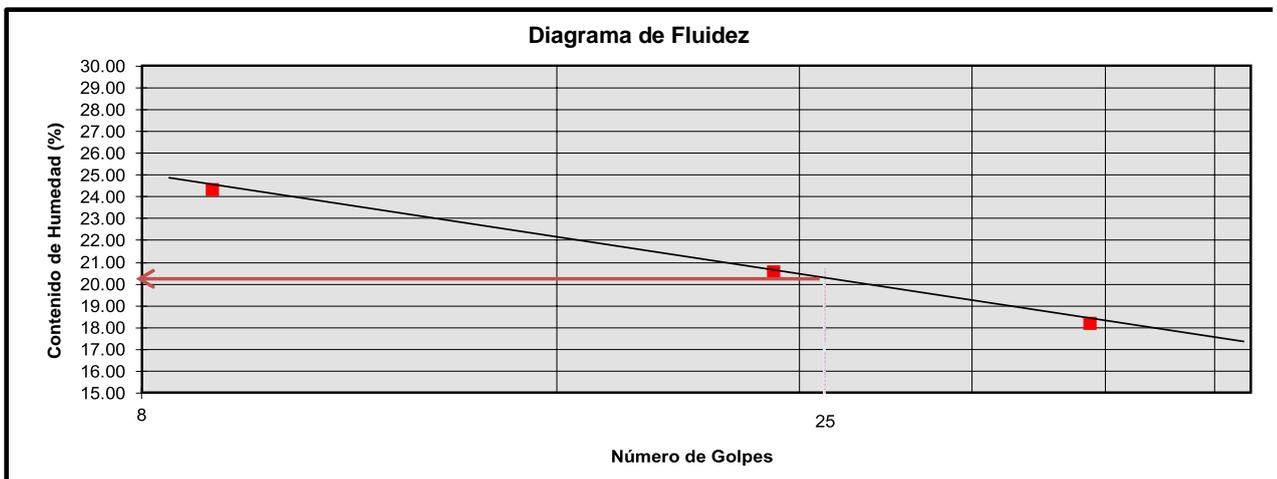


Tabla 7
 Límite de plástico

LIMITE PLASTICO (LP)				
1 No recipiente	PQ3	H2		
2 W recipiente (gr)	10.90	11.00		
3 W recipiente sw (gr)	16.20	15.70		
4 W recipiente s (gr)	15.30	15.00		
5 W w : 3-4 (gr)	0.90	0.70		
6 W s : 4-2 (gr)	4.40	4.00		
7 LP : 100*5/6 (%)	20.45	17.50		
8 LP promedio (%)				18.98

De lo anterior se pudo determinar que el suelo materia de estudio es de tipo arena bien graduada o SW, conforme se aprecia en el siguiente resumen.

ENSAYOS : ESTANDAR DE CLASIFICACION
 NORMAS : ASTM D422 - D2216 - D854 - D4318 - D427 - D2487
 SOLICITANTE : Tesis Felipe Sotelo
 FECHA : 23-ene-2020

Tabla 8
 Estándar de clasificación

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO	% ACUMULADO QUE PASA	75.000	3"	100.00
		50.000	2"	100.00
		37.500	1 1/2"	100.00
		25.000	1"	94.61
		19.000	3/4"	92.84
		9.500	3/8"	77.70
		4.750	No 004	58.51
		2.000	No 010	36.93
		0.850	No 020	22.30
		0.425	No 040	15.77
		0.250	No 060	11.83
		0.150	No 100	5.91
		0.075	No 200	1.07
PESO ESPECÍFICO RELATIVO DE SÓLIDOS (Gs)		2.65		#1
PESO ESPECÍFICO NATURAL (γ)		16.2		#1
HUMEDAD NATURAL (%)		1.33		Cc
LÍMITE LÍQUIDO (LL)		5.81		20.70
LÍMITE PLÁSTICO (LP)				18.98
ÍNDICE PLÁSTICO (IP)				1.72
LÍMITE DE CONTRACCIÓN (LC)				-

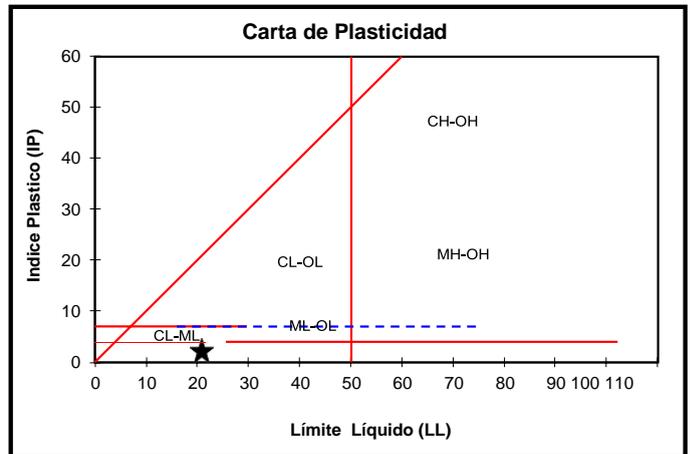
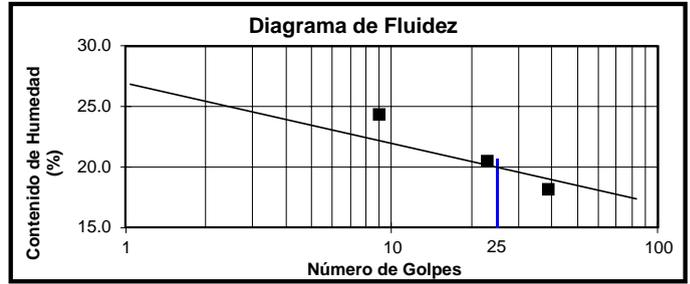
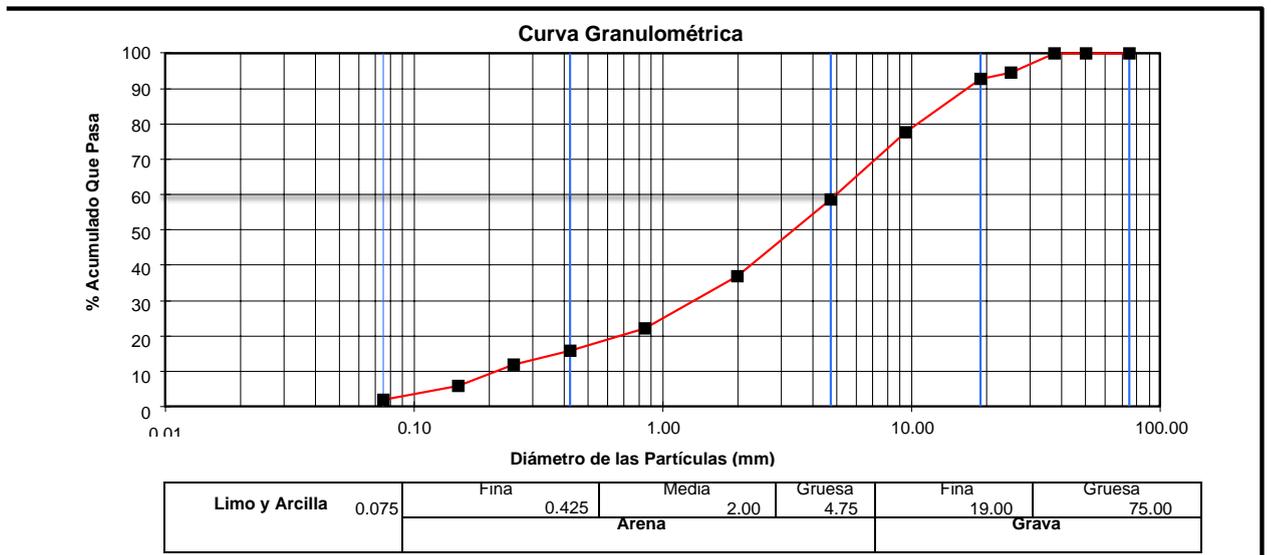


Figura 11
 Clasificación S.U.C.S.

CLASIFICACION S.U.C.S.	SW
------------------------	----



Ensayos de cono de arena in situ.

Con el objetivo de correlacionar la compactación en campo con las ondas de un geófono se procedió a ejecutar el ensayo de cono de arena en tres puntos distintos

de la vía, los resultados se aprecian en las siguientes tablas.

Punto 1.

Tabla 9

Ensayos de cono de arena in situ, Densidad de campo: punto 1

+	A: DENSIDAD DE CAMPO	
	00.- Densidad de la arena usada (g/cc)	1.38
	01.- Peso(arena+frasco) (g)	6626
	02.- Peso(arena que queda+frasco) (g)	2580
	03.- Peso de arena usada (g)	4046
	04.- Pesode arena en cono (g)	1536
	05.- Volumen del hueco (cc)	1819
	06.- Peso del suelo total humedo + recipiente	4296
	07.- Peso del recipiente (balde)	148
	08.- Peso del suelo total humedo	4148
	12.- Densidad del suelo humedo gr/cc.	2.28
	13.- Densidad del suelo seco gr/cc.	2.04

Punto 2.

Tabla 10

Ensayos de cono de arena in situ, Densidad de campo: punto 2

+	A: DENSIDAD DE CAMPO	
	00.- Densidad de la arena usada (g/cc)	1.38
	01.- Peso(arena+frasco) (g)	6626
	02.- Peso(arena que queda+frasco) (g)	2580
	03.- Peso de arena usada (g)	4046
	04.- Pesode arena en cono (g)	1536
	05.- Volumen del hueco (cc)	1819
	06.- Peso del suelo total humedo + recipiente	4296
	07.- Peso del recipiente (balde)	148
	08.- Peso del suelo total humedo	4148
	12.- Densidad del suelo humedo gr/cc.	2.28
	13.- Densidad del suelo seco gr/cc.	2.11

Punto 3.

Tabla 11

Ensayos de cono de arena in situ, Densidad de campo: punto 3

+	A: DENSIDAD DE CAMPO	
	00.- Densidad de la arena usada (g/cc)	1.38
	01.- Peso(arena+frasco) (g)	6626
	02.- Peso(arena que queda+frasco) (g)	2580
	03.- Peso de arena usada (g)	4046
	04.- Pesode arena en cono (g)	1536
	05.- Volumen del hueco (cc)	1819
	06.- Peso del suelo total humedo + recipiente	4296
	07.- Peso del recipiente (balde)	148
	08.- Peso del suelo total humedo	4148
	12.- Densidad del suelo humedo gr/cc.	2.28

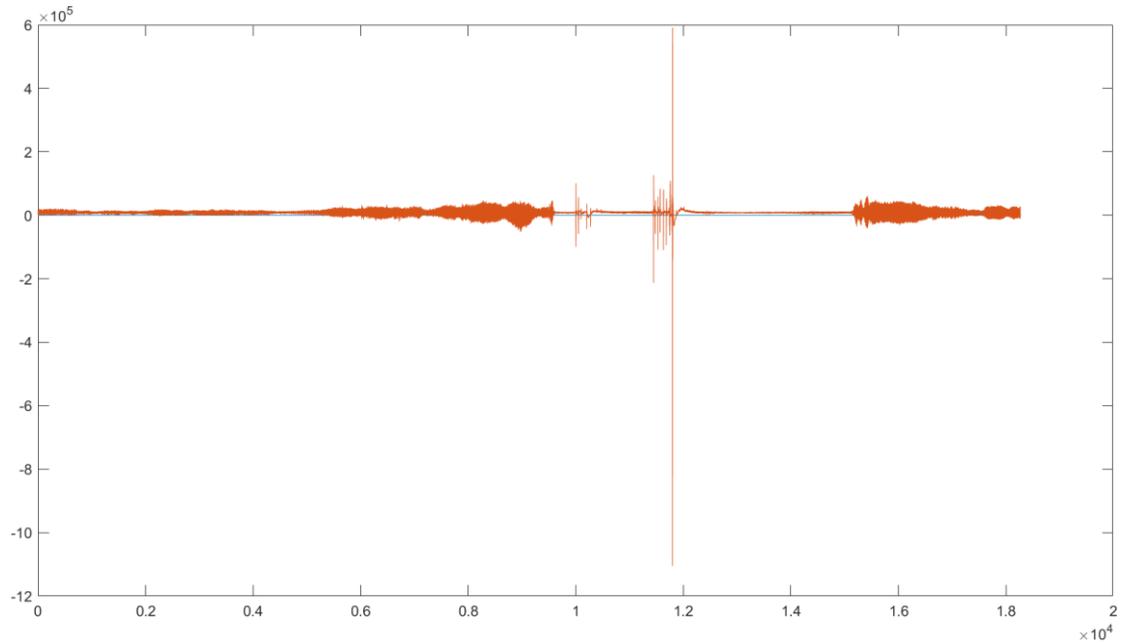
Resultados de los sismogramas del geófono.

Las vibraciones medidas por el geo fono fueron procesadas a través de una versión estudiantil software Matlab. Los resultados se muestran a continuación:

Punto 1.

Figura 12

Resultados de los sismogramas del geófono, punto 1.

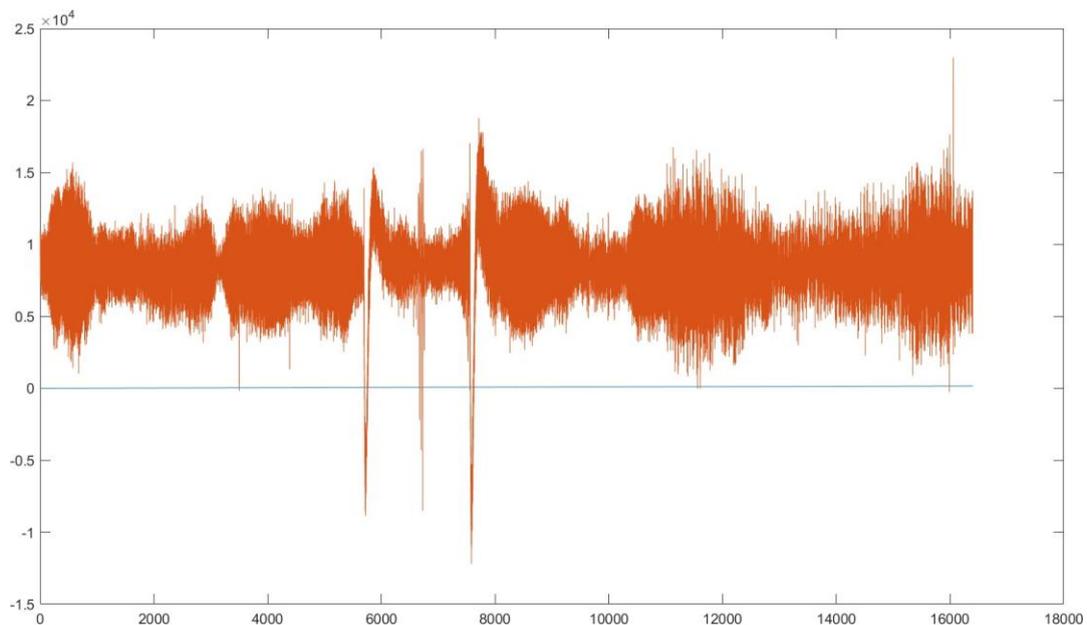


Amplitud máxima en el punto 1: 6×10^5

Punto 2.

Figura 13

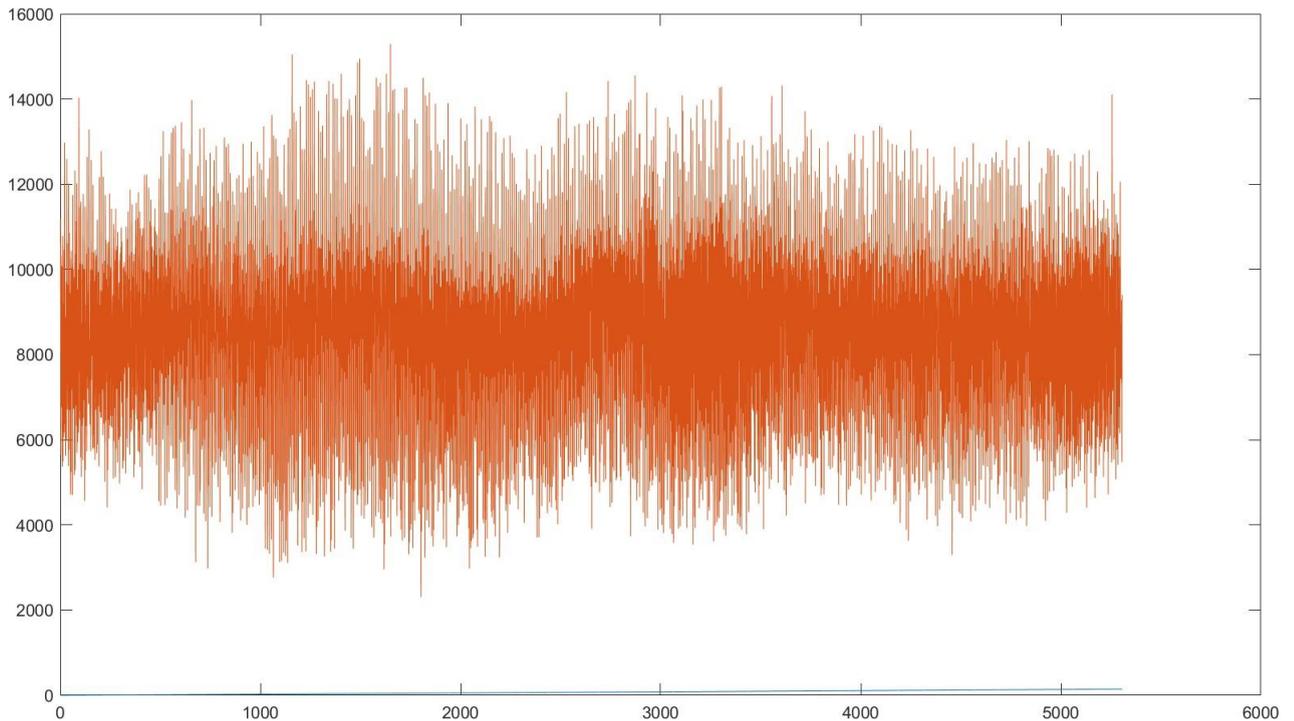
Resultados de los sismogramas del geófono, punto 2



Donde se observa que la magnitud máxima llega a 1.75×10^4 .

Punto 3.

Figura 14
Resultados de los sismogramas del geófono, punto 3



Donde se observa que la amplitud máxima es 1.4×10^4

Resumen de datos y comparación.

Para poder resaltar la importancia del control de compactación mediante el análisis de las ondas de un geo fono se tiene la siguiente tabla resume:

Tabla 12
Resumen de datos y comparación

Punto	Cono de arena	Geófono
1	2.04	6×10^5
2	2.11	1.75×10^4
3	2.08	1.4×10^4

Con lo cual se demuestra que las lecturas del geófono sirven para el control de calidad de compactación.

V. DISCUSIÓN

Los resultados de la investigación indican que la utilización de un geófono para el control de calidad de compactación tiene un amplio potencial pues brinda resultados alentadores.

Frente a la hipótesis general planteada sobre la importancia es sumamente beneficioso en la construcción al aplicar el control de calidad en la compactación de una sub base de pavimento aplicando el análisis de ondas de un geófono piezoeléctrico, para la pavimentación de Cusco, Donde se pudo determinar la relevancia del control de calidad en vista de que la interpolación simple sirvió para determinar la distribución superficial de la resistencia CBR en la vía, así poder determinar el nivel de importancia.

Al respecto Romero (2016) en su investigación sobre los métodos y equipos de compactación de suelos menciona en su conclusión que los esfuerzos de compactación pueden transmitirse al suelo por la combinación de uno o más de los siguientes efectos, Presión estática, impacto, vibración y amasamiento. Ante lo mencionado se puede deducir que los procedimientos de resistencia y compactación son determinantes para la construcción de una vía, debido a las funciones que este cumplirá.

Frente a la primera hipótesis específica sobre el procedimiento de control calidad de una compactación usando geófono piezoeléctrico tiene ventajas prácticas y económicas ya que demuestra un procedimiento sencillo, se pudo percibir que las lecturas del geófono sirven para el control de calidad de compactación, las cuales evidenciaron en el punto 3, el 1.4×10^4 dentro de la medición del geófono, deduciendo, que el procedimiento fue sencillo, con el fin de medir la calidad del procedimiento.

Al respecto Lebbe (2015) en su investigación sobre el impacto del contenido de humedad en la resistencia de subgrado, en la cual se pudo percibir que, al incrementar la cantidad de días que se tiene por inmersión, la firmeza de la sub base decrece a causa del incremento de contenido de humedad, con ella la calidad del resultado. Dentro de la presente también se ha podido evidenciar la importancia del control de calidad para mejorar resultados, pues a mayor control de calidad del procedimiento, el resultado será mas consistente.

Frente a la segunda hipótesis específica de la confiabilidad de la medición de la densidad de una base de pavimento rígido por el método geofísico es mayor al 30%. Donde se pudo percibir que la densidad en los 3 puntos presenta 1.38 de densidad de arena usada, con lo que se entiende que es de manera moderada.

Al respecto Chirinos (2016) en su investigación sobre la densidad seca en el proceso de compactación con efectos de energía, donde se pudo percibir que la densidad seca máxima obtenida fue 2.18 gr/cm y el óptimo contenido de humedad de 3.5%, se obtiene con 28.24 kg/cm² de energía de compactación correspondiente a 58 golpes por capa, pues en la presente se ha podido percibir la densidad de 1.38, con lo que existe resultados diferenciados, debido a múltiples factores, los cuales pueden ser, clima, ubicación entre otros, los cuales evidencian la variación de los resultados obtenidos.

Frente a la tercera hipótesis sobre la confiabilidad de la medición del contenido de humedad de una base de pavimento rígido por el método geofísico es mayor al 70%. Se ha podido evidenciar que el mayor porcentaje acumulado es de 98.13% según los resultados de laboratorio obtenido, con lo que se puede deducir que el procedimiento de estudio de la humedad es óptimo, debido a que se ha realizado mayor acumulado retenido.

Al respecto Alcoser (2016) en su investigación sobre el control de humedad en la optimización del proceso de compactación en pavimentos pudo concluir que se realizó el proceso de compactación en los pavimentos urbanos en la Provincia de Huancayo, donde se evidencio la retención de humedad en un 88.3%, lo cual también indica el resultado positivo del procedimiento de compactación.

VI. CONCLUSIONES

- **Primera:** La importancia de la construcción al aplicar el control de calidad en la compactación de una sub base de pavimento aplicando el análisis de ondas de un geófono piezoeléctrico, muestra su relevancia en la interpolación simple, la cual sirvió para determinar la distribución superficial de la resistencia CBR en la vía, así poder determinar el nivel de importancia.
- **Segunda:** El procedimiento de control calidad de la compactación usando geo fono piezoeléctrico demostró un procedimiento sencillo, evidenciando que las lecturas del geófono sirven para el control de calidad de compactación, las cuales evidenciaron en el punto 3, el 1.4×10^4 dentro de la medición del geófono, deduciendo, que el procedimiento fue sencillo, con el fin de medir la calidad del procedimiento.
- **Tercera:** la confiabilidad de la medición de la densidad de la base de pavimento rígido por el método geofísico presente en los 3 puntos presenta 1.38 de densidad de arena usada, con lo que se entiende que fue un procedimiento moderado.
- **Cuarta:** La medición del contenido de humedad en la base de pavimento rígido por el método geofísico fue de 98.13% según los resultados de laboratorio obtenido, con lo que se puede concluir que el procedimiento de estudio de la humedad es óptimo, debido a que se ha realizado mayor acumulado retenido.

VII. RECOMENDACIONES

- Se recomienda profundizar en la línea de investigación para así contribuir con el conocimiento de la geofísica aplicada a la geotecnia y así mejorar la práctica de la ingeniería civil.
- Se recomienda poner mayor énfasis al procedimiento de control de calidad en el proceso de pavimentación para obtener mejores resultados de producto.
- Se recomienda manejar mas opciones para analizar la humedad de la construcción de pavimentación los factores situados en el contexto.
- Se recomienda buscar mayor eficiencia en el proceso de construcción de pavimentación para brindar mejores resultados y fortalecer la consistencia de los pavimentos.

REFERENCIAS

Alibaba.com. (23 de Enero de 2018). Soil Moisture Sensor, Soil Moisture Sensor Suppliers and Manufacturers at Alibaba.com. Obtenido de <https://www.alibaba.com/showroom/soil-moisture-sensor.html> Anand, Antony, Gipin, Sbareesh, & Fareeda. (2017). Advanced Water Impurity Detection System. International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology, 2347 - 6710.

Artés, A. (2007). DISEÑO, IMPLEMENTACIÓN Y VERIFICACIÓN DE UN SENSOR DE TEMPERATURA CMOS DE BAJO COSTE Y ALTA FUNCIONALIDAD. Madrid: UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID.

Belov, M. (2014). Measurement and sensor technologies trends, development dynamics and application scope. Autumn: Kajaani University of Applied Sciences.

civilgeeks.com. (27 de Febrero de 2018). ELEMENTOS CONTAMINANTES DEL AGREGADO. Obtenido de <https://civilgeeks.com/2011/09/24/elementos-contaminantes-del-agregado/>

Colmenares, E., Ordoñez, J., Walteros, J., & Verbel, J. (2007). DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UN PROTOTIPO PARA DETECTAR FUGAS DE GAS PARA USO RESIDENCIAL. SANTAFÉ DE BOGOTA: UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA.

conceptdefinicion.de. (27 de Febrero de 2018). Definición de arena. Obtenido de <http://conceptdefinicion.de/arena/>

definicion.de. (27 de Febrero de 2018). Definición de Detector. Obtenido de <https://definicion.de/detector/>

DHL. (2013). LOW-COST SENSOR TECHNOLOGY. Troisdorf: DHL Customer Solutions & Innovation.

Fernandez, J., Jose, H., Lozano, J., Santos, J., & Suarez, J. (2016). Un sistema de clasificación de olores en línea para narices electrónicas. Extremadura: Universidad de Extremadura.

García, D. (2014). Diseño e implementación de un sistema de seguridad para el hogar con interfaz en Android. Universidad del País Vasco.

Gestiopolis. (27 de Febrero de 2018). ¿Qué es la casa de la calidad? Obtenido de <https://www.gestiopolis.com/que-es-la-casa-de-la-calidad/>

Huerta, J. (2016). DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ANÁLISIS DE RIESGO EN LÍNEAS DE PIPING. SANTIAGO DE CHILE: UNIVERSIDAD DE CHILE.

MTC. (2000). IMPUREZAS ORGANICAS EN EL AGREGADO FINO. Lima: MTC.

MTC. (2015). TARIFAS DE ENSAYOS DE LABORATORIO DE LA DIRECCIÓN DE ESTUDIOS ESPECIALES AÑO 2015. Lima: MTC.

Tripathy, & Anuradha. (2018). INTERNET OF THINGS (IoT) Technologies, Applications, Challenges, and Solutions. Boca Raton: Taylor & Francis Group.

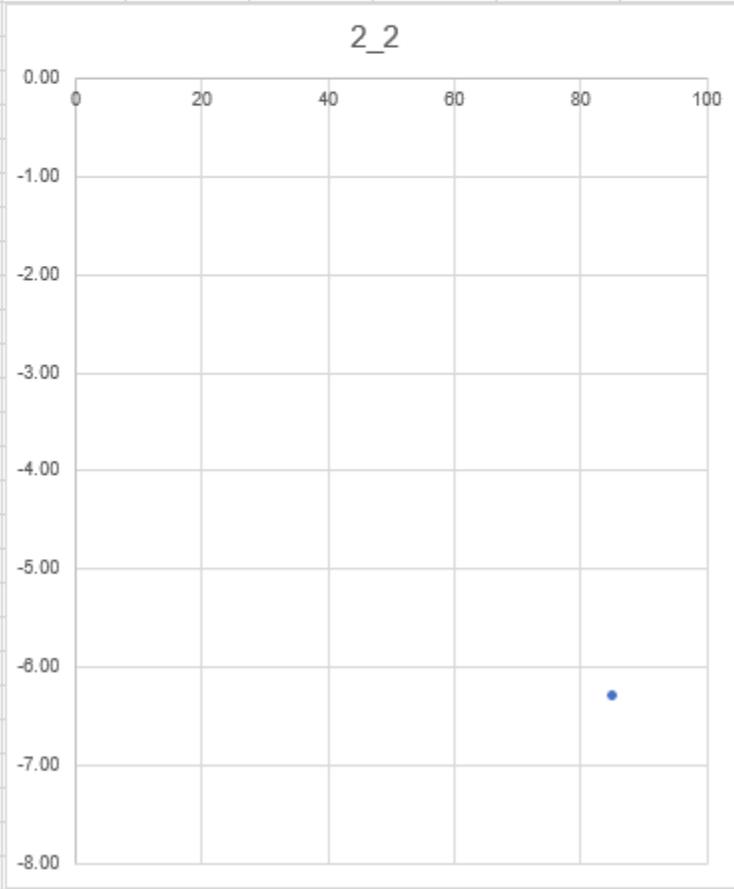
Wikipedia. (27 de Febrero de 2018). Eficiencia. Obtenido de <https://es.wikipedia.org/wiki/Eficiencia>

Zapata, J. (27 de Febrero de 2018). DISEÑO DE ELEMENTOS DE MÁQUINAS I. Obtenido de <http://www.eumed.net/libros-gratis/ciencia/2013/14/disenio-ingenieria.html>

ANEXOS

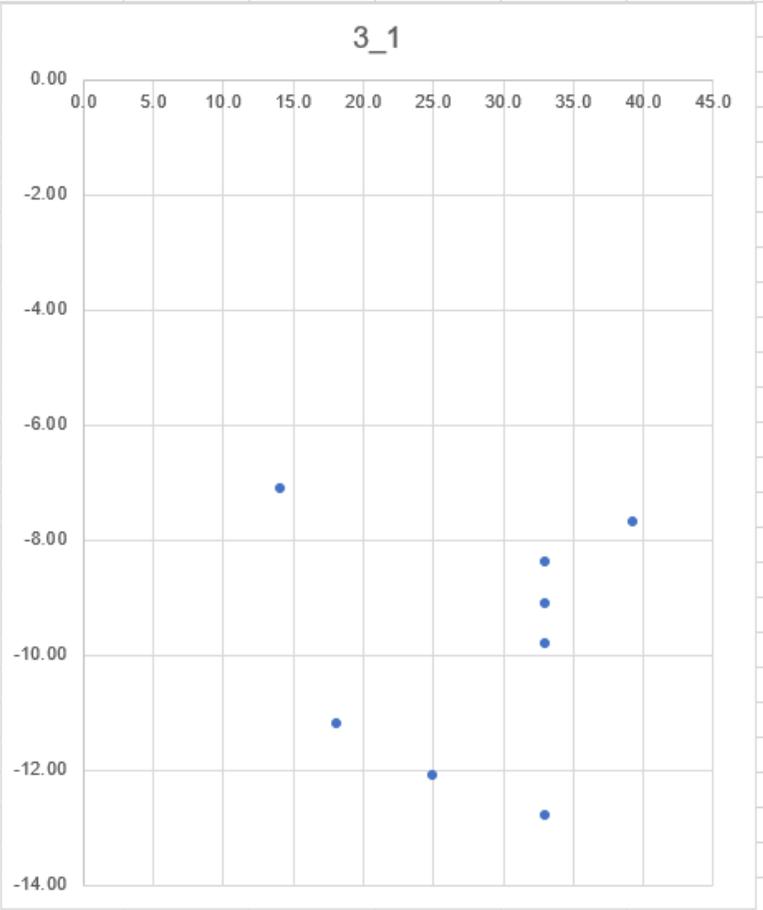
DATOS DEL PROYECTO:	
Nombre del proyecto:	
Ubicación:	
Fecha del trabajo en laboratorio:	
LOCALIZACION	2_2
Ensayo:	CBR - PDC
Norma de referencia:	ASTM D6951
DATOS DE CBR	

Blow	A4 (1)	z	DPI A4 (1)	CBR A4 (1)	CBR_Prom
Oed	5.5	-5.50	0.00	0.00	85.3
1	5.7	-5.70	2.00		134.3
2	5.8	-5.80	1.00		292.0
3	6.0	-6.00	2.00		134.3
4	6.3	-6.30	3.00	85.3	
5	6.5	-6.50	2.00		134.3
6	6.7	-6.70	2.00		134.3
7	6.8	-6.80	1.00		292.0
8	7.0	-7.00	2.00		134.3
9	7.2	-7.20	2.00		134.3

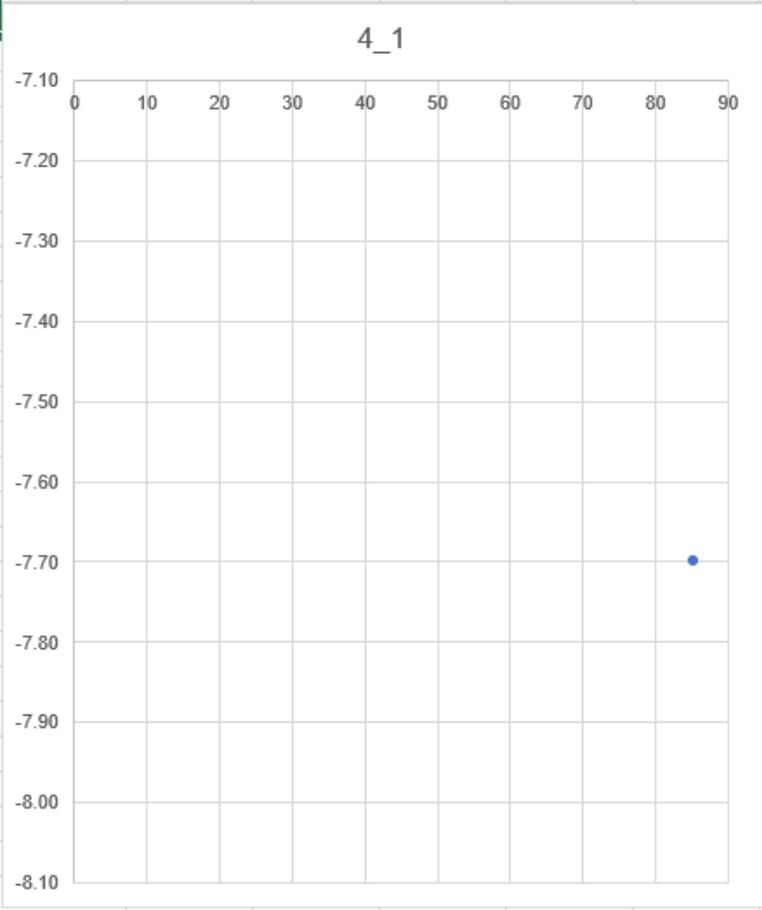


DATOS DEL PROYECTO:	
Nombre del proyecto:	
Ubicación:	
Fecha del trabajo en laboratorio:	
LOCALIZACION	3_1
Ensayo:	CBR - PDC
Norma de referencia:	ASTM D6951

DATOS DE CBR					CBR_Prom	28.6
Blow	A4 (1)	z	DPI A4 (1)	CBR A4 (1)		
0ed	5.6	-5.60	0.00	0.00		
1	7.1	-7.10	15.00	14.1		
2	7.7	-7.70	6.00	39.3		
3	8.4	-8.40	7.00	33.0		
4	9.1	-9.10	7.00	33.0		
5	9.8	-9.80	7.00	33.0		
6	10.0	-10.00	2.00		134.3	
7	11.2	-11.20	12.00	18.1		
8	12.1	-12.10	9.00	24.9		
9	12.8	-12.80	7.00	33.0		



+ DATOS DEL PROYECTO:						
Nombre del proyecto:						
Ubicación:						
Fecha del trabajo en laboratorio:						
LOCALIZACION						
4_1						
Ensayo: CBR - PDC						
Norma de referencia: ASTM D6951						
+ DATOS DE CBR						
Blow	A4 (1)	z	DPI A4 (1)	CBR A4 (1)	CBR_Prom	85.3
Oed	7.0	-7.00	0.00	0.00		
1	7.2	-7.20	2.00		134.3	
2	7.4	-7.40	2.00		134.3	
3	7.7	-7.70	3.00	85.3		
4	7.8	-7.80	1.00		292.0	
5	7.9	-7.90	1.00		292.0	
6	8.0	-8.00	1.00		292.0	



+ DATOS DEL PROYECTO:

Nombre del proyecto:
 Ubicación:
 Fecha del trabajo en laboratorio:

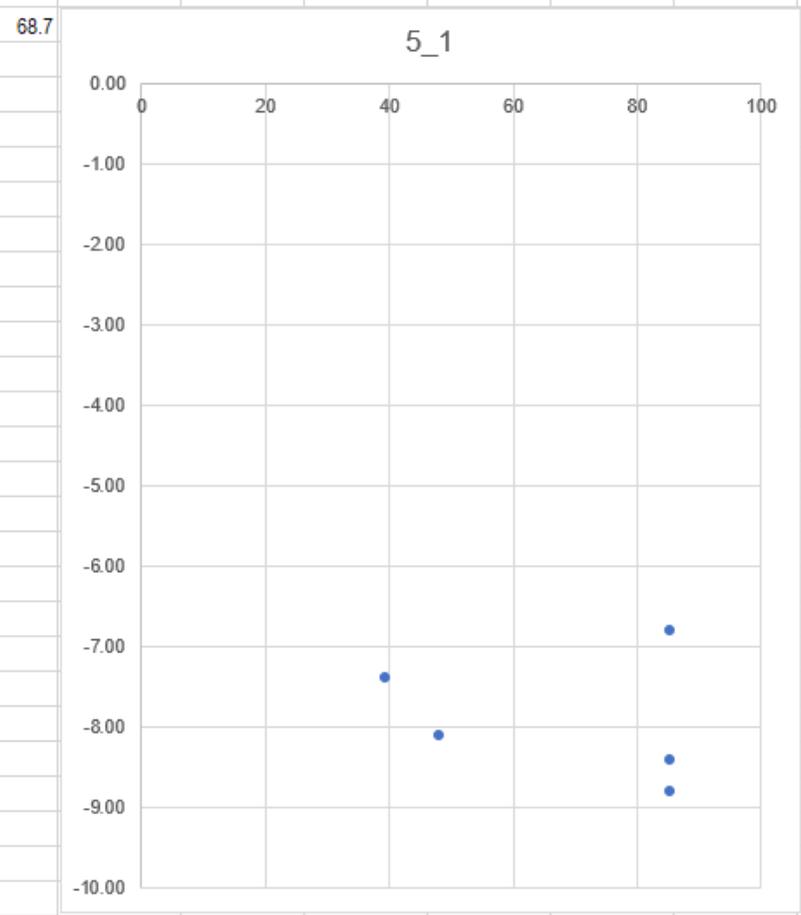
LOCALIZACION

5_1

Ensayo: CBR - PDC
 Norma de referencia: ASTM D6951

+ DATOS DE CBR

Blow	A4 (1)	z	DPI A4 (1)	CBR A4 (1)	CBR_Prom
Oed	6.3	-6.30	0.00	0.00	
1	6.4	-6.40	1.00		292.0
2	6.5	-6.50	1.00		292.0
3	6.8	-6.80	3.00	85.3	
4	7.4	-7.40	6.00	39.3	
5	7.6	-7.60	2.00		134.3
6	8.1	-8.10	5.00	48.1	
7	8.4	-8.40	3.00	85.3	
8	8.5	-8.50	1.00		292.0
9	8.8	-8.80	3.00	85.3	





UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

¹²
FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Título

“LA IMPORTANCIA DEL CONTROL DE COMPACTACION
APLICANDO EL ANALISIS DE ONDAS DE UN GEOFONO
PIEZOELECTRONICO EN SUBBASE DEL PAVIMENTO -
CUSCO”

⁸
TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
CIVIL

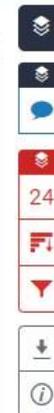
AUTOR:

Luis Felipe Sotelo Alvarez (0000-0003-1526-1361)

⁸
ASESOR:

Dr. CANCHO ZUÑIGA, GERARDO ENRIQUE (000-0002-0684-5114)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:



Turnitin - Class Portfolio

turnitin.com/s_class_portfolio.asp?r=38.029419891723&svr=43&lang=es&aid=104534&cid=28490374

Luis Sotelo Información del usuario Mensajes Estudiante Español Ayuda Cerrar sesión



Portafolio de la clase Mis notas Discusión Calendario

ESTÁS VIENDO: INICIO > TALLER DE ELABORACIÓN DE TESIS CC17- T

¡Bienvenido a la página de inicio de su nueva clase! Podrás ver todos los ejercicios de tu clase en la página principal de tu clase, así como ver información adicional acerca de los ejercicios, entregar tu trabajo y tener acceso a los comentarios para tus trabajos.

Mueve el cursor sobre cualquier elemento de la página principal de la clase para ver más información.

Página de Inicio de la clase

Esta es la página de inicio de su clase. Para entregar un trabajo, haga clic en el botón de "Entregar" que está a la derecha del nombre del ejercicio. Si el botón de Entregar aparece en gris, no se pueden realizar entregas al ejercicio. Si está permitido entregar trabajos más de una vez, el botón dirá "Entregar de nuevo" después de que usted haya entregado su primer trabajo al ejercicio. Para ver el trabajo que ha entregado, pulse el botón "Ver". Una vez la fecha de publicación del ejercicio ha pasado, usted también podrá ver los comentarios que le han dejado en el trabajo haciendo clic en el botón de "Ver".

Bandeja de entrada del ejercicio: TALLER DE ELABORACIÓN DE TESIS CC17- T

Título del Ejercicio	Información	Fechas	Similitud	Acciones
TESIS		Comienzo 24-feb.-2021 1:15PM Fecha de entrega 17-jul.-2021 11:59PM Publicar 24-abr.-2021 12:00AM	24%	Entregar de nuevo Ver

Derechos de autor © 1998 – 2021 Turnitin, LLC. Todos los derechos reservados.

[Política de privacidad](#) [Acuerdo de Privacidad](#) [Términos de servicio](#) [Cumplimiento de la protección de datos de la UE](#) [Protección de Copyright](#) [Preguntas legales más frecuentes](#)

[Centro de Ayuda](#)

444455555