

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE CUENCA

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y
CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LOS MÉTODOS DE CURADO (CAPILARIDAD Y
CÁMARA HÚMEDA); Y, MÉTODOS DE COMPACTACIÓN (PROCTOR ESTÁNDAR
Y BAJO ESFUERZOS DE PRENSA) PARA ESTABILIZAR UN SUELO-CEMENTO.**

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL**

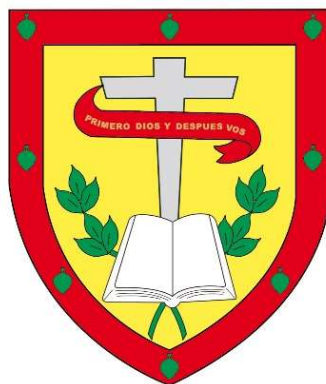
**AUTORES: KAREN LIZBETH CONDO SEGARRA; KELVIN ALEXIS GUTIERREZ
PINO.**

DIRECTOR: ING. LUIS MARIO ALMACHE SANCHEZ

CUENCA-ECUADOR

2023

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN.

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL.

ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LOS MÉTODOS DE CURADO (CAPILARIDAD Y CÁMARA HÚMEDA); Y, MÉTODOS DE COMPACTACIÓN (PROCTOR ESTÁNDAR Y BAJO ESFUERZOS DE PRENSA) PARA ESTABILIZAR UN SUELO-CEMENTO.

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL**

AUTORES: KAREN LIZBETH CONDO SEGARRA; KELVIN ALEXIS GUTIERREZ PINO.

DIRECTOR: ING. LUIS MARIO ALMACHE SANCHEZ.

CUENCA - ECUADOR

2023

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO

DECLARATORIA DE AUTORÍA Y RESPONSABILIDAD

Nosotros, Karen Lizbeth Condo Segarra, portadora de la cédula de ciudadanía N.º 0104779509 y Kelvin Alexis Gutierrez Pino portador de la cédula de ciudadanía N.º 0105904940. Declaramos ser los autores de la obra: "Análisis comparativo entre los métodos de curado (capilaridad y cámara húmeda); y, métodos de compactación (Proctor estándar y bajo esfuerzos de prensa) para estabilizar un suelo-cemento" sobre la cual nos hacemos responsables sobre las opiniones, versiones e ideas expresadas. Declaramos que la misma ha sido elaborada respetando los derechos de propiedad intelectual de terceros y eximimos a la Universidad Católica de Cuenca sobre cualquier reclamación que pudiera existir al respecto. Declaramos finalmente que esta obra ha sido realizada cumpliendo con todos los requisitos legales, éticos y bioéticos de investigación, que la misma no incumple con la normativa nacional e internacional en el área específica de investigación, sobre la que también nos responsabilizamos y eximimos a la Universidad Católica de Cuenca de toda reclamación al respecto.

Cuenca, 10 de octubre del 2023.

F: 
Karen Lizbeth Condo Segarra
0104779509

F: 
Kelvin Alexis Gutierrez Pino
0105904940

CERTIFICACIÓN

Yo, Ing. Luis Mario Almache Sánchez con CI: 0103401451 en calidad de director de tesis certifico que el trabajo “Análisis comparativo entre los métodos de curado (capilaridad y cámara húmeda); y, métodos de compactación (Proctor estándar y bajo esfuerzos de prensa) para estabilizar un suelo-cemento.”, fue realizado por los estudiantes, Karen Lizbeth Condo Segarra y Kelvin Alexis Gutierrez Pino, bajo mi supervisión.

Cuenca, 10 de octubre de 2023.



Ing. Luis Mario Almache Sánchez.

DIRECTOR

DEDICATORIA

Dedico este logro a mi padre, Carlos Octavio Condo Barrera, que con su esfuerzo, perseverancia y amor ha sido el principal promotor de mis sueños.

También, a mi madre Martha y hermana Karla que han sido mis confidentes y mejores amigas a lo largo de mi vida y mi formación académica.

A mi esposo Daniel, por su apoyo incondicional y su amor infinito.

Karen Lizbeth Condo Segarra.

DEDICATORIA

Dedico este logro de manera infinita a mi madre Rosa Amparito Pino García, ya que, con su gran cariño, cuidado y sobre todo la confianza que ha puesto en mí, me ha inspirado a seguir adelante y conseguir mis metas y propósitos.

También a mi padre Guido que fue una parte muy importante en este proceso ya que con su apoyo he podido salir adelante.

De la misma manera a mis hermanos, amigos y familiares que siempre han estado apoyándome anímicamente y nunca me han hecho sentir solo a lo largo de mi formación académica.

Kelvin Alexis Gutierrez Pino.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Ing. Luis Mario Almache Sánchez, por ser una guía constante a lo largo de mis estudios y ahora tutor de tesis, también agradezco a los ingenieros laboratoristas: Ing. Juan Monje e Ing. Marco Gonzales, quienes me orientaron en la fase de laboratorio de este trabajo de titulación con paciencia y sabiduría.

Karen Lizbeth Condo Segarra.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a nuestro tutor el Ing. Luis Mario Almache Sánchez, quien ha sido una guía como profesional y como persona a lo largo de la formación académica y como mentor del presente trabajo de titulación, también agradezco al Ing. Juan Monje y al Ing. Marco González, laboratoristas de la unidad académica, quienes fueron guías y amigos durante toda la fase de laboratorio, aportando con sus consejos y conocimientos para así poder cumplir con los objetivos del trabajo de titulación.

Kelvin Alexis Gutierrez Pino.

RESUMEN

Esta investigación se realizó con el objetivo de conocer y establecer cuál es el método de compactación y curado más idóneo en laboratorio, para garantizar el mejoramiento deseado en un suelo. Para ello, se decide mejorar un material de subrasante, del cual se toma una muestra formando una calicata a 1.5 m de profundidad, para evitar cualquier tipo de contaminación superficial que puede haber en el terreno y posteriormente, a través de una mezcla de suelo-cemento se busca aumentar la resistencia del suelo, para ello se obtiene el porcentaje de cemento agregado, este varía según el tipo de clasificación conseguida a través de los distintos ensayos determinados por la normativa.

El mismo procedimiento se llevará con el material conocido como Base Granular, este al ser adquirido de una minera, la cual tiene una clasificación previa, de igual manera se somete a los ensayos de laboratorio en el que se establece un método de compactación óptimo y un método de curado eficiente para dicho tipo de suelo.

Es importante aclarar que son dos métodos de compactación, el primero, método Proctor estándar y el segundo método es netamente experimental, este consiste en establecer una carga en la prensa hidráulica en la que se aplica una carga equivalente a la carga similar a la ejercida por el método de Proctor Estándar.

De igual manera la aplicación de los métodos de curado, se realizó una comparación de los dos métodos estableciendo cuál de los dos brinda una mejor resistencia a las muestras obtenidas.

Palabras clave: compactación, prensa hidráulica, suelo cemento, capilaridad, cámara húmeda.

ABSTRACT

This research was conducted to identify and establish the most suitable compaction and curing method in the laboratory to ensure the desired improvement in soil. To this end, it was decided to enhance a subgrade material from which a sample is taken by forming a test pit at a depth of 1.5 meters to prevent any surface contamination that may exist in the area; subsequently, through a soil-cement mixture, it is intended to increase the soil's resistance, and the percentage of added cement is determined, which varies according to the classification obtained via various tests specified by the regulations.

The same procedure was conducted with the material known as Granular Base; it was extracted from a mining company with a previous classification. It also underwent laboratory tests to establish optimal compaction and efficient curing methods for this soil type.

It is essential to clarify that there are two compaction methods: the first one is the standard Proctor method, and the second method is purely experimental, involving the application of a load in the hydraulic press equivalent to the load applied by the standard Proctor method.

Similarly, the two methods were compared in applying the curing methods, establishing which provides better resistance to the samples obtained.

Keywords: *compaction, hydraulic press, soil cement, capillarity, wet chamber*

Índice de Contenidos.

DECLARATORIA DE AUTORÍA Y RESPONSABILIDAD	3
CERTIFICACIÓN	4
DEDICATORIA	5
DEDICATORIA	6
AGRADECIMIENTOS	7
AGRADECIMIENTOS	8
RESUMEN	9
ABSTRACT	10
INTRODUCCION	15
Capítulo I: Generalidades.	17
1.1 Antecedentes.	17
1.2 Objetivos.....	19
1.2.1 General.....	19
1.2.2 Específicos.....	19
1.3 Alcance	19
1.4 Justificación	21
1.5 Zonas de muestreo	23

	12
Capitulo II.....	25
2.1 Marco Teórico	25
2.1.2 Suelo.....	25
2.1.3 Contenido de agua en el suelo.....	26
2.1.4 Límites de Atterberg (Norma ASTM D4318).....	26
2.1.5 Análisis granulométrico de los áridos finos y gruesos (Norma ASTM C136-01). ..	30
2.1.5.1 Granulometría.....	30
2.1.6 Clasificación del suelo.....	32
2.1.7 Abrasión	36
2.1.8 Subrasante.....	38
2.1.9 Base Granular.....	39
2.1.10 Mejoramiento del suelo por procedimientos mecánicos.....	42
2.1.11 Compactación de suelos.....	42
2.1.14 Estabilización de un suelo.....	47
2.1.15 Métodos de mejoramiento en suelos.....	48
2.1.16 Diseño de la mezcla suelo-cemento.....	49
2.1.17 Curado del suelo-cemento.....	50
2.2 Metodología.....	52
Capitulo III: Ensayos de laboratorio.....	56
3.1 Ensayos de laboratorio.....	56

3.1.1 Ensayos realizados en material: Base Granular.....	56
3.1.1.2 Ensayo estándar de los Límites de Atterberg.	59
3.1.1.3 Clasificación según SUCS.....	61
3.1.1.4 Clasificación según AASHTO.	61
3.1.1.5 Ensayo de abrasión.	61
3.1.1.6 Ensayo de compactación utilizando energía estándar (Proctor estándar).....	63
3.1.1.7 Ensayo de compactación utilizando la prensa hidráulica.	65
3.1.1.8 Diseño y conformación de la mezcla suelo-cemento.	69
3.1.1.9 Aplicación de métodos de curado.....	71
3.1.2 Ensayos realizados en material: Subrasante.	75
3.1.2.1 Ensayo de granulometría.	75
3.1.2.2 Ensayo estándar de los Límites de Atterberg.	76
3.1.2.3 Clasificación según SUCS.....	80
3.1.2.4 Clasificación según AASHTO.	81
3.1.2.5 Ensayo de abrasión.	81
3.1.2.6 Ensayo de compactación utilizando energía estándar (Proctor estándar).....	81
3.1.2.7 Ensayo de compactación utilizando la prensa hidráulica.	83
3.1.2.8 Diseño de la mezcla suelo-cemento.....	86
3.1.2.9 Aplicación de métodos de curado.....	88
Capítulo IV: Resultados	92

	14
4.1 Obtención de resultados.	92
4.1.1 Evaluación de resultados obtenidos.....	92
4.1.2 Cuadros comparativos de resultados.	106
Capítulo V:	112
5.1 Conclusiones.....	112
5.2 Recomendaciones	113
Bibliografía.....	115
Anexos.....	118

INTRODUCCION

La compactación y curado del suelo cemento es un proceso fundamental en la construcción de estructuras duraderas y resistentes. Uno de los métodos más comunes utilizados para lograr una compactación efectiva es la compactación con el método Proctor estándar y como método experimental se propone la compactación con prensa hidráulica. En este contexto, se explorará la eficacia de estos métodos combinados con dos métodos de curado, denominados simulación de cámara húmeda y curado por capilaridad, se compararán con el fin de determinar cuál de ellos proporciona resultados superiores.

La compactación con prensa hidráulica es un procedimiento que implica la aplicación de fuerza hidráulica controlada sobre una muestra de suelo y suelo cemento, lo que permite una compactación uniforme y precisa. Por otro lado, el método Proctor estándar se basa en la utilización de una máquina de compactación que aplica una cantidad específica de energía de compactación a una muestra de suelo, determinando así la densidad óptima (Toro, 2019). Ambos métodos tienen sus propias ventajas y desventajas en términos de eficiencia y facilidad de aplicación.

En cuanto a los métodos de curado, existen dos enfoques predominantes: el curado en cámara húmeda y el curado por capilaridad. El curado en cámara húmeda implica el almacenamiento de las muestras de suelo cemento en una atmósfera controlada de alta humedad, lo que facilita una hidratación completa y uniforme del material. Por otro lado, el curado por capilaridad se basa en la absorción gradual de la humedad del entorno circundante a través de los poros del material, lo que promueve una curación más lenta pero continua (Montero, 2016).

El objetivo principal de este estudio es analizar y comparar estos métodos de compactación y curado para determinar cuál de ellos proporciona un rendimiento superior en términos de

resistencia, durabilidad y eficiencia. Al identificar las ventajas y desventajas de cada método, los ingenieros y profesionales de la construcción podrán tomar decisiones informadas para optimizar sus proyectos y garantizar la calidad de las estructuras de suelo cemento. En última instancia, este análisis contribuirá a mejorar la práctica de la ingeniería civil y el desarrollo de infraestructuras más seguras y duraderas.

Capítulo I: Generalidades.

1.1 Antecedentes.

La construcción de vías en el país es muy importante, dado que, estas son esenciales para tener conexión, movilidad, accesibilidad a áreas remotas y zonas rurales, permitiendo el acceso a servicios como atención médica y brindan seguridad, reduciendo el riesgo de accidentes, etc. Para lograr esto, la aplicación de estructura vial requiere un correcto manejo de técnicas y directrices que garanticen una larga vida útil a la obra (Jara Anyaypoma, 2014).

El uso de diferentes materiales que aseguran la correcta construcción estructural de las carreteras muchas veces requiere obtener algún tipo de mejoramiento, es por esto por lo que se realizan los procesos conocidos como compactación y mejoramiento con suelo-cemento. Estos son dos importantes pasos para la construcción de la infraestructura vial. Tras la aplicación de estos procedimientos se conoce que los costos por deterioro que las vías pueden disminuir, porque se garantiza la resistencia de los materiales aplicados en la construcción (Rodríguez, 1992).

La compactación es de suma importancia dado que esto contribuye en el aumento de la resistencia del suelo, disminución de espacios vacíos y tras este proceso el material compactado adquiere una capacidad de deformación mucho menor a la que portaba previo a este procedimiento. Si se da una compactación excesiva en el suelo, este tiende a trisarse y a disminuir sus capacidades mecánicas, es por esto que se proponen diferentes métodos de compactación (Toro, 2019)

Para mejorar la capacidad resistente del suelo en el que se construirá la obra se requiere realizar el diseño de la mezcla suelo cemento, los porcentajes de cemento a aplicar siempre dependerá del tipo de suelo que se tiene y a la resistencia que se quiere llegar, luego de realizar el

diseño de la mezcla suelo-cemento se aplica un curado del material. La aplicación del curado de suelo cemento en campo puede enfrentar problemas que pueden afectar negativamente la calidad y durabilidad del proyecto. Entre los factores que pueden afectar el desarrollo del proyecto se encuentran: las fallas de aplicación en el curado, mala elección del método de curado, clima adverso, falta de monitoreo durante el proceso de curado, incompatibilidad del suelo-cemento con otros materiales, entre otros (Montejo et al., 2018).

Se plantea realizar el proceso de métodos de curado capilaridad y simulación de cámara húmeda, dado que son los dos métodos más conocidos dentro de los laboratorios para su aplicación, esto permitirá mantener a las muestras en una humedad controlada por los tesisistas, sin que esta exceda o disminuya drásticamente, permitiendo obtener una comparación idónea del funcionamiento de los métodos, ya que al revisar varias tesis, el curado por simulación de cámara húmeda o “curado convencional” es el método más usado, a comparación del curado por capilaridad, que es un método muy poco convencional.

Es importante tener en cuenta estos problemas y aplicar el curado y compactado de manera adecuada para garantizar la resistencia y durabilidad del suelo y suelo cemento.

1.2 Objetivos.

1.2.1 General.

Realizar el análisis comparativo entre los métodos de curado (capilaridad y cámara húmeda); y, métodos de compactación (Proctor estándar y bajo esfuerzos de prensa) para estabilizar un suelo-cemento.

1.2.2 Específicos.

Cumplir con las especificaciones proporcionadas por la normativa vial dada la calicata, a una profundidad no menor a 1.5 m.

Obtener el material clasificado como Base Granular, obtenido en una minera.

Realizar los ensayos de laboratorio (Granulometría, Límites de Atterberg, Abrasión, Compactación estándar), que se requiere para diseñar la mezcla suelo-cemento.

Realizar el análisis de resultados de compactación (peso volumétrico) por Proctor estándar y (esfuerzos) prensa hidráulica con carga aplicada en material Base Granular y subrasante de suelo.

Realizar la comparación de resultados de curado por capilaridad y simulación de cámara húmeda en material Base Granular y subrasante de suelo mejorado con cemento.

1.3 Alcance

Se realizará la comparación de los resultados entre dos métodos de compactado y dos métodos de curado de suelo-cemento, en este caso se han tomado dos materiales de suelo a mejorar, una Base Granular de una minera previamente establecida y una subrasante. Estos dos materiales se mejorarán con cemento, cada uno con el porcentaje de cemento, óptimo según lo obtenido en la bibliografía.

En el caso de la compactación, se realizará una compactación por Proctor estándar que es un ensayo que sirve para obtener el volumen y densidad de la muestra y compactación por carga aplicada mediante la prensa hidráulica dado que en este ensayo solo se toma en cuenta el esfuerzo dado por la carga aplicada que se realiza sobre el área designada del cilindro lleno de material; este último método ha sido propuesto de manera experimental, ya que, no se cuenta con una metodología o normativa que respalde la aplicación de este procedimiento.

El fin de realizar la compactación con prensa hidráulica, es brindar una carga impuesta por los estudiantes hasta llegar a una reducción de espacios vacíos óptima, para realizar la compactación.

La finalidad de esta prueba experimental es comparar con un método que se aplica con una normativa previamente establecida los resultados de estos dos ensayos. Esto permitirá a los estudiantes establecer conclusiones para brindar una opción más mecanizada al momento de compactar ciertas cantidades de material en el campo.

En los métodos de curado de las muestras de suelo-cemento, se han considerado dos métodos, curado por cámara húmeda y curado por capilaridad. El fin de esta comparación es demostrar que, al momento de la aplicación de curado en la construcción de vías, una mala práctica de curado disminuye la resistencia, presenta grandes contracciones haciendo que la mezcla pierda humedad y tienda a agrietarse, exigiendo un periodo de hidratación mucho más prolongado.

Estas complicaciones al momento de ejecutar el curado de la mezcla suelo-cemento, reducen la resistencia de los materiales en grandes porcentajes, acortando la vida útil de la obra. Por estos motivos es de vital importancia realizar un estudio óptimo del curado de mezclas suelo-cemento, permitiendo establecer recomendaciones de aplicación en el campo para que dicha vida útil no se vea afectada.

1.4 Justificación

La vida útil en carreteras se ha visto afectada por varios factores, tanto antrópicos como los que presentan un déficit de rendimiento de materiales aplicados en la estructura. Es importante tener una infraestructura vial segura, que no afecten los costos de mantenimiento a gran escala, que tengan un impacto ambiental positivo, por esto, brindar una larga vida útil a una vía supone:

Seguridad, ya que se reduce el riesgo causado por fallas en la estructura. Reducción de costos, se necesita menos energía para construir, mantener y reemplazar carreteras. Comodidad, una infraestructura vial que dura más tiempo proporciona una conducción más suave y cómoda, lo que mejora la experiencia de los conductores/ usuarios en la carretera. Para obtener todos estos factores de suma importancia para la infraestructura vial, se requiere seguir una serie de métodos y pasos que ayudarán a obtener los resultados esperados. En este caso se realizarán los métodos de curado (capilaridad y cámara húmeda) y los métodos de compactación (Proctor estándar, y método experimental bajo esfuerzos de prensa) para la estabilización de un suelo-cemento.

La compactación es un proceso esencial en la construcción de carreteras, edificios y otras estructuras, tanto para suelos como para suelo cemento. La compactación implica la eliminación de los huecos y el aire entre las partículas del suelo o del suelo-cemento para mejorar su resistencia y capacidad de soporte de cargas. Es particularmente importante en suelos blandos o suelos con alta capacidad de expansión, ya que estos suelos pueden asentarse con el tiempo si no se compactan adecuadamente.

En el caso del suelo cemento, la compactación es aún más importante, ya que el suelo cemento es una mezcla de suelo y cemento que debe ser compactada para lograr una alta resistencia y una buena capacidad de soporte de cargas. La compactación del suelo cemento se logra mediante la aplicación de energía mecánica, para compactar las partículas del suelo y el cemento y mejorar la

adhesión de los materiales, también ayuda a reducir la cantidad de huecos y aire en la mezcla, lo que mejora la resistencia y la durabilidad del suelo cemento. Se logra mediante la aplicación de energía mecánica para reducir el volumen y mejorar la densidad de las partículas del suelo o de la mezcla de suelo y cemento.

Las aplicaciones de curado dentro de las mezclas suelo-cemento pueden presentar muchos problemas si no se realiza adecuadamente. Esto influye en el agrietamiento, si se seca demasiado rápido durante el proceso de curado, esto podría ser resultado de una falta de humedad o una exposición excesiva a factores climáticos abrasivos, como lo son el sol o el viento. Se busca mejorar el suelo del sector debido a que se observa un material arcilloso, con baja capacidad de soportar carga, esto se evidencia porque la vía que ha sido limpiada superficialmente y presenta una gran cantidad de baches, esto quiere decir que el suelo necesita ser mejorado para transmitir de mejor manera la carga, eliminar la mayor parte de espacios vacíos y disminuir la cantidad de agua absorbida.

Otro de los factores que afectan la mezcla de suelo-cemento, si no se realiza un curado óptimo, es la erosión, ya que, al no realizar adecuadamente el curado este puede erosionarse debido a la lluvia, logrando que se debilite la estructura del suelo cemento y reducir la durabilidad de este. Entre otros problemas como lo es la baja resistencia que se obtiene después de una mala práctica, el desprendimiento que presentan las partículas de suelo durante el curado, etc.

Para evitar estos problemas que se están presentando en campo se busca realizar la comparación de los dos métodos, en los cuales, uno de ellos garantizara obtener un mayor porcentaje de rendimiento al aplicarlo en obra. Lo cual significa, abaratar costos al agregar resistencia y tiempo a la vida útil de la estructura.

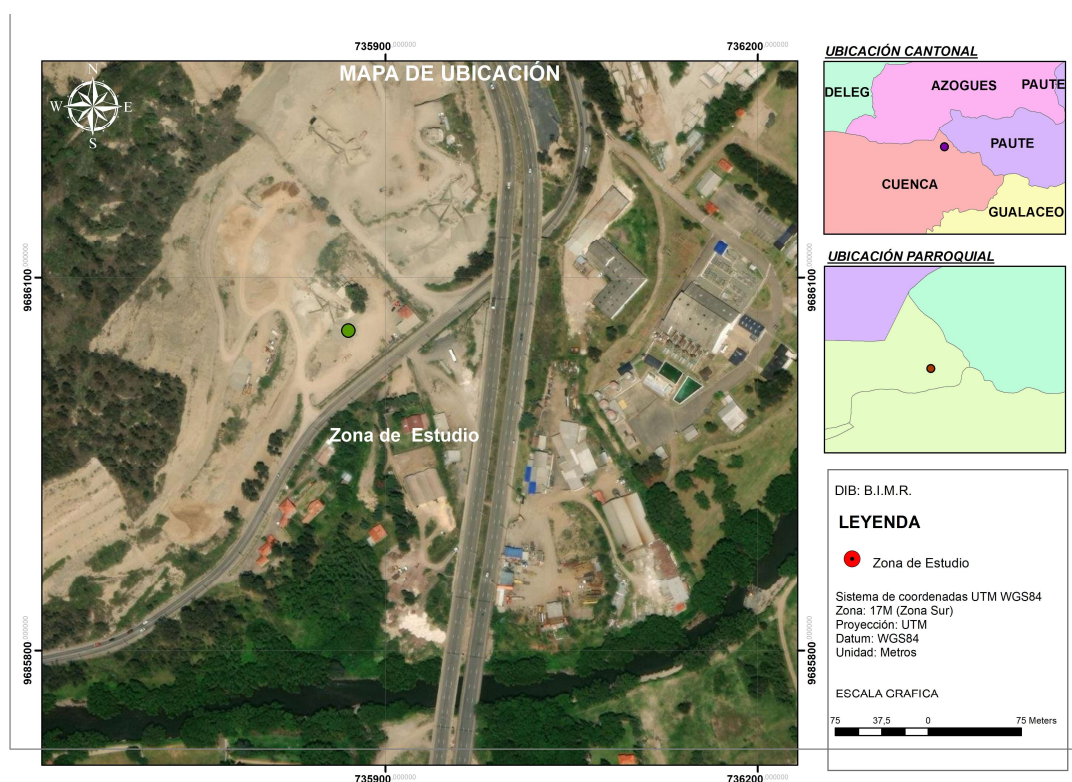
1.5 Zonas de muestreo

Esta investigación documental y aplicada está dirigida a mejorar las propiedades físicas y mecánicas mediante dos procesos de compactación en suelo sin mejoramiento y dos procesos de curado en suelo-cemento. El material por mejorar conocido como Base Granular se obtendrá de una minera que se encuentra ubicada en el sector El Descanso, de la Provincia del Azuay en las coordenadas: $2^{\circ}50'17.65''$ S; $78^{\circ}52'40.03''$ O, o sistema UTM 747219.30 m E; 9683788.02 m S.

A continuación, en la figura 1, se puede observar la ubicación de la minera. Revisar Anexo 55.

Figura 1.

Ubicación de la zona de obtención de la muestra.



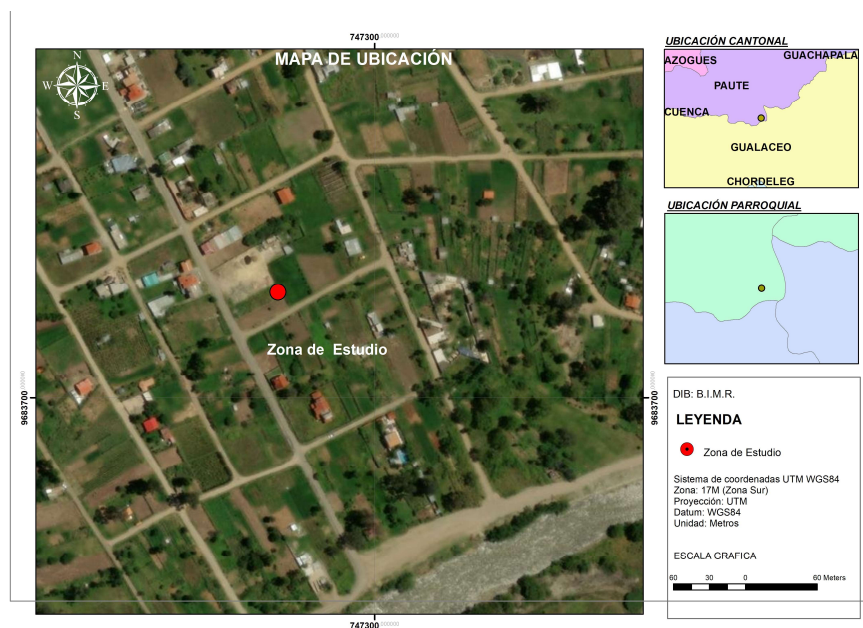
Nota: El mapa de la figura 1, indica la ubicación exacta de la zona en donde se obtuvo la muestra del material conocido como Base Granular. Realizado por: Los autores.

El segundo material por mejorar conocido como subrasante se obtendrá de la excavación realizada para una vía que se encuentra ubicada en la Parroquia El Cabo, del Cantón Paute, Provincia del Azuay en las coordenadas: $2^{\circ}50'56.02''$ S; $78^{\circ}47'44.65''$ O; o sistema UTM 735870.22 m E; 9686057.49 m S. Al realizar la extracción del material de subrasante con una calicata de 1.5 m de profundidad, se puede establecer que el material que conforma la vía que posteriormente será construida, es una arcilla debido a las características que presenta en el campo. Dicha clasificación previa señala que el material puede considerarse de baja calidad siendo necesario realizar el mejoramiento de este.

A continuación, en la figura 2, se puede observar la ubicación de donde se extrajo la calicata.

Figura 2.

Ubicación de la zona de obtención de la muestra. Revisar Anexo 56.



Nota: El mapa de la figura 2, indica la ubicación exacta de la zona en donde se obtuvo la muestra del material conocido como subrasante. Realizado por: Los autores.

Capítulo II.

2.1 Marco Teórico

2.1.2 Suelo.

El suelo es el principal agente material dentro de la construcción, llevando a que este se divida en dos grandes grupos; suelos finos y gruesos. El primer grupo comprende de arcillas y limos y el segundo grupo está compuesto por gravas y arenas. Esto se puede clasificar según el tamaño de sus partículas mediante el ensayo de granulometría, también se puede obtener el contenido de humedad que dicho suelo presente. (Braja, 2015)

“El suelo se define como el agregado no cementado de granos minerales y materia orgánica descompuesta (partículas sólidas) con líquido y gas en los espacios vacíos entre las partículas sólidas.” (Braja, 2015). A continuación, en la figura 3, se expone un esquema tradicional del suelo, en el cual se pueden observar el volumen de vacíos, siendo conformado por aire y agua y el volumen de sólidos.

Figura 3.

Esquema tradicional del suelo.



Nota: El esquema de la figura 3, indica la composición de las partículas de un suelo. Obtenido de: Braja, M. D. (2015). Fundamentos de ingeniería geotécnica (Cuarta edición). Cengage Learning 2013.

2.1.3 Contenido de agua en el suelo.

El contenido de agua en el suelo permite establecer la cantidad de agua actual que contiene el suelo, también cual es la capacidad que tiene para retenerla. Es importante dentro de las obras civiles. El agua es un factor que influye directamente con la resistencia que tiene el suelo frente a fuerzas actuantes. Este ensayo es referenciado por la norma normativa (American Society for Testing and Materials o ASTM International) ASTM D2216-7. (Bowles, 1990)

El contenido de agua en el suelo puede ser medido a través de ecuaciones, en las cuales se relacionan los pesos de la muestra del material en dos etapas. En la primera etapa se pesa la muestra de suelo húmeda y en la segunda etapa se realiza el peso de la muestra seca, para obtener el contenido de agua según su porcentaje. (Braja, 2015)

Para determinar el contenido de humedad de una muestra de suelo se ocupa la siguiente formula: (Bowles, 1990)

$$w = \frac{W_w}{W_v} * 100$$

En donde:

W_w = peso del agua presente en la masa de suelo

W_v = peso de los solidos

2.1.4 Límites de Atterberg (Norma ASTM D4318)

Los Límites de Atterberg buscan establecer la consistencia y plasticidad de un suelo. La consistencia de un suelo hace referencia a mantener las partes de un conjunto enlazadas entre sí, esto depende del contenido de agua (Duque & Escobar, 2016).

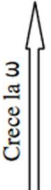
La plasticidad de un suelo se puede establecer como la deformación que este presenta tras aplicar una carga, esto se debe a la eliminación de agua absorbida por el material y sus espacios vacíos, siendo en algunos suelos mayores que en otros (Duque & Escobar, 2016).

A continuación, en la figura 4, se puede observar los límites establecidos para los cuatro estados de los suelos finos.

Atterberg establece tres límites para los estados del suelo:

Figura 4

Límites para los cuatro estados de los suelos finos, según Atterberg 1911.

	Estado líquido	⇒	Límite líquido	W_L	LL
	Estado plástico	⇒	Límite plástico	W_p	LP
	Estado semi – sólido	⇒	Límite de retracción	W_s	LR
	Estado sólido				

Nota: En la figura 4, se expone la tabla de los estados de suelo según Atterberg. Recuperado de: Duque, G., & Escobar, C. (2016). Origen formación y constitución del suelo, físico químico de las Arcillas. <https://www.studocu.com/co/document/universidad-francisco-de-paula-santander/quimica-del-suelo/importante-origen-formacion-y-constitucion-del-sueloduque-y-escobar-2016/9530902>

2.1.4.1 Limite Liquido

El límite líquido en el suelo describe la cantidad de humedad que un suelo debe contener para obtener una consistencia casi líquida. Este contenido de agua es aquel que separa los estados sólido-líquido de un suelo. Es una propiedad físico-mecánica muy importante del suelo, dado que

está relacionado directamente con su capacidad a soportar cargas y a su resistencia a corte (Braja, 2015).

El límite líquido se determina a través de un ensayo conocido como “Ensayo de Casagrande”, el cual consiste en medir el número de golpes necesarios para una pequeña porción del suelo adquiera una forma de hilo con una longitud específica, al ser sometido a un movimiento de suspensión controlada (Braja, 2015). A continuación, en la figura 5, se puede observar la cuchara de casa grande con la que se obtienen los diferentes límites de consistencia.

Figura 5

Cuchara de Casagrande



Nota: En la figura 5, se expone una foto de la cuchara de Casagrande, un instrumento que se requiere para realizar el ensayo de límites de Atterberg. Realizado por: los autores.

2.1.4.2 Limite Plástico.

El límite plástico se conoce por el contenido de humedad en el cual el suelo de fractura al formar con las manos pequeños tubos de 3 mm de diámetro, este suelo debe ser amasado con la palma de la mano contra una superficie lisa (Duque & Escobar, 2016)

Se necesita una cantidad del material restante del ensayo de límite líquido, se masa con la palma de la mano sobre una hoja de papel formando pequeños cilindros de 3 mm de diámetro hasta que estas presenten fracturas en la muestra, consecuentemente estos bastones se pesan para establecer su contenido de humedad y se secan en el horno a una temperatura constante (Duque & Escobar, 2016).

A continuación, en la figura 6, se puede observar el procedimiento para obtener el límite plástico y la formación de los tubos de 3mm.

Figura 6

Ensayo para obtener el límite plástico.



Nota: En la figura 6, se expone parte del procedimiento para realizar el ensayo de límite plástico. Realizado por: los autores.

2.1.4.3 Índice de Plasticidad

El índice de plasticidad busca determinar cuál es la capacidad a la que el suelo tiende a deformarse sin romperse. Se obtiene de la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico de la muestra de suelo (Duque & Escobar, 2016).

$$IP = LL - LP$$

En donde:

IP= Índice de Plasticidad.

LL= Limite Liquido.

LP= Limite Plástico.

2.1.5 Análisis granulométrico de los áridos finos y gruesos (Norma ASTM C136-01).

El análisis granulométrico hace referencia a realizar una clasificación del tamaño de las partículas de suelo, esto se puede realizar de manera mecánica o manual. Se establecen tamaños porque la prueba usa diferentes tamices, en los cuales, el material queda atrapado, permitiendo separar la muestra y pesarla, esto indica porcentajes retenidos en cada malla (Borselli, 2022).

La granulometría también sirve para realizar la clasificación del suelo, ya sea mediante el Método Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) o Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes (AASHTO).

2.1.5.1 Granulometría

El análisis granulométrico se realiza en dos partes:

La primera parte consiste en realizar el ensayo tamizando las partículas de agregado grueso y fino. Este método se usa para determinar el cumplimiento de la distribución de tamaño se la muestra (Cañas, s. f.) .

Este ensayo trata de separar los agregados secos con una masa conocida mediante tamices, obteniendo los pesos retenidos en cada uno de ellos. La información obtenida de este análisis debe ser representada mediante una curva donde el porcentaje que pasa se establece en las ordenadas y los diámetros de las partículas en las abscisas (Toirac Corral, 2012).

La segunda parte consistirá en realizar el método estándar para materiales más finos que la malla N°200. Este método implica que la muestra de agregados finos sea lavada para quitar residuos orgánicos, luego se procede a un tratamiento de secado hasta que la muestra no presente humedad (Cañas, s. f.). El resultado de este ensayo se incluye en los cálculos para la obtención de la curva granulométrica mediante el método de la liga, que es brindar una serie de cálculos para enlazar los resultados del ensayo de agregados gruesos y finos a los resultados de los materiales más finos que la malla N°200 (Toirac Corral, 2012).

El método de la liga para granulometría hace referencia a realizar el cálculo de las partículas acumuladas en función del tamaño de la malla de cada tamiz, esta distribución se obtiene sumando las masas del material retenido, empezando desde la malla más grande hasta la más pequeña. Además, se calculan los diámetros medios y el coeficiente de uniformidad (Cañas, 2007). A continuación, en la figura 7, se puede observar cómo es el mecanismo de los tamices con los que se realizan la granulometría.

Figura 7.

Tamices para realizar el ensayo de granulometría.



Nota: En la figura 7, se exponen los tamices usados para el ensayo de granulometría.

Realizado por: los autores.

2.1.6 Clasificación del suelo.

La clasificación del suelo hace referencia a la identificación de los diferentes tipos de suelo en función de sus propiedades y características geotécnicas, físicas y químicas.

Existen diferentes métodos de clasificación como lo es el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) y el sistema de clasificación de suelos de la Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes como indican sus siglas ingles AASHTO. Estos sistemas ordenan a los suelos según su textura, color, densidad, humedad, entre otras cualidades físicas (Duque & Escobar, 2016).

Esta clasificación es importante para la identificación de suelos muy problemáticos, como lo son los suelos expansivos y con baja capacidad portante o con alto potencial de erosión (Duque & Escobar, 2016).

2.1.6.1 Sistema de clasificación SUCS.

Se requiere iniciar la clasificación mediante el análisis granulométrico del suelo; el factor más importante para realizar la clasificación por el método SUCS se considera fino si más del 50% de la muestra del suelo pasa el tamiz #200, a su vez, se considera que si más del 50% del material no pasa el tamiz #200 se clasifica como suelo grueso (Corral, 2008).

La clasificación mediante el método SUCS está representado por las letras:

Gravas (G):

- Gravas bien graduadas (GW)
- Gravas mal graduadas (GP)
- Grava limosa (GM)
- Grava arcillosa (GC)

Arenas (S):

- Arenas bien graduadas (SW)
- Arenas mal graduadas (SP)
- Arenas limosas (GM)
- Arenas arcillosas (GC)

En este punto la clasificación empieza a descender en cuanto a la calidad de los materiales que se pueden encontrar en las muestras, se pueden considerar suelos de baja calidad (Corral, 2008).

Finos

- Limos (M):
 - Alta plasticidad (MH)
 - Baja plasticidad (ML)
- Arcillas (C):
 - Alta compresibilidad (CH)
 - Baja compresibilidad (CL)
- Orgánico (O):
 - Alta compresibilidad (OH)
 - Baja compresibilidad (OL)
- Turbas (PT): Este material se considera inestable por eso no se recomienda trabajar con este tipo de suelos.

Tabla 1

Clasificación por el método SUCS.

DIVISIONES PRINCIPALES		Símbolos del grupo	NOMBRES TÍPICOS	IDENTIFICACIÓN DE LABORATORIO
SUELOS DE GRANO GRUESO	GRAVAS	Gravas limpias	Gravas, bien graduadas, mezclas grava-arena, pocos finos o sin finos.	$Cu = D_{60}/D_{10} > 4$ $Cc = (D_{30})^2 / (D_{10} \times D_{60})$, entre 1 y 3 Determinar porcentaje de grava y arena en la curva granulométrica. Según el porcentaje de finos (fracción inferior al tamiz número 200). Los suelos de grano grueso se clasifican como sigue: $< 5\% \rightarrow$ GW, GP, SW, SP. $> 12\% \rightarrow$ GM, GC, SM, SC. 5 al 12% -> casos límite que requieren usar doble símbolo.
		(sin o con pocos finos)	Gravas mal graduadas, mezclas grava-arena, pocos finos o sin finos.	
		Gravas con finos	Gravas limosas, mezclas grava-arena-limo.	
	MÁS DE LA MITAD DE LA FRACCIÓN GRUESA ES RETENIDA POR EL TAMIZ NÚMERO 4 (4,76 mm)	(apreciable cantidad de finos)	Gravas arcillosas, mezclas grava-arena-arcilla.	Límites de Atterberg debajo de la línea A o $IP < 4$. Límites de Atterberg sobre la línea A con $IP > 7$. Encima de línea A con IP entre 4 y 7 son casos límite que requieren doble símbolo.
		Arenas limpias	Arenas bien graduadas, arenas con grava, pocos finos o sin finos.	
		(pocos o sin finos)	Arenas mal graduadas, arenas con grava, pocos finos o sin finos.	
	MÁS DE LA MITAD DEL MATERIAL RETENIDO EN EL TAMIZ NÚMERO 200 (75 μm)	Arenas con finos	Arenas limosas, mezclas de arena y limo.	Límites de Atterberg debajo de la línea A o $IP < 4$. Límites de Atterberg sobre la línea A con $IP > 7$. situados en la zona rayada con IP entre 4 y 7 son casos intermedios que precisan de símbolo doble.
		(apreciable cantidad de finos)	Arenas arcillosas, mezclas arena-arcilla.	
		Limos y arcillas:	Limos inorgánicos y arenas muy finas, limos limpios, arenas finas, limosas o arcillosas, o limos arcillosos con ligera plasticidad.	
	SUELOS DE GRANO FINO	Límite líquido menor de 50	ML	Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas.
CL			Limos orgánicos y arcillas orgánicas limosas de baja plasticidad.	
OL			Limos inorgánicos, suelos arenosos finos o limosos con mica o diatomeas, limos elásticos.	
Límite líquido mayor de 50		MH	Arcillas inorgánicas de plasticidad alta.	
		CH	Arcillas orgánicas de plasticidad media a elevada; limos orgánicos.	
		OH	Turba y otros suelos de alto contenido orgánico.	
Suelos muy orgánicos		PT		

Nota: En la tabla 1 se expone la carta de plasticidad para clasificación de un suelo por el método SUCS. Recuperado de: ASTM D-3282

2.1.6.2 Sistema de clasificación AASHTO

El método de clasificación AASHTO tiene como finalidad obtener el Índice de Grupo, el cual tiene la capacidad de evaluar la calidad del suelo. Este método clasifica a los suelos en Base Granular a su composición granulométrica, índice de plasticidad y límite líquido. Separa a cada suelo en siete grupos numerados desde A-1, hasta A-7 (Corral, 2008).

Las partículas de los suelos que pasan el tamiz N°200 con un porcentaje inferior al 35% se encuentran dentro de los grupos A1, A2 y A3, en cambio los suelos conocidos como finos o limo-arcillosos de los cuales más del 35% pasa por el tamiz N°200 pertenecen a los grupos A-4, A-5, A-6, A-7 (Corral, 2008).

El índice de grupo se obtiene mediante la siguiente fórmula:

$$IG = (F - 35)[0.2 + 0.005(LL - 40)] + 0.01(F - 15)(IP - 10)$$

En donde:

F = Porcentaje que pasa el tamiz N°200

LL = Límite Líquido.

IP = Índice de Plasticidad.

Tabla 2.

Clasificación por el método ASSHTO.

Clasificación general	Material Granular (35% o menos del total pasa No.200)						
	A -1		A - 3	A - 2			
	A - 1 - a	A - 1 - b		A - 2 - 4	A - 2 - 5	A - 2 - 6	A - 2 - 7
Análisis de tamices (porcentaje que pasa)							
No. 10	50 max.						
No. 40	30 max.	50 máx.	51 min.				
No. 200	15 max.	25 max.	10 max.	35 max.	35 max.	35 max.	35 max.
Características de la fracción que pasa No.40							
Límite líquido				40 max.	41 min.	40 max.	41 min.
Índice de plasticidad	6 max.		NP	10 max.	10 max.	11 min.	11 min.
Tipos usuales de materiales que consta	Fragmentos pétreos, grava, y arena		Arena fina	Limos o gravas arcillosas y arena			
Valoración general del subgrupo	Excelente a bueno						

Nota: En la tabla 2 se expone la carta de plasticidad para realizar la clasificación por el método AASHTO. Recuperado de: Braja M. Das. (2013). Fundamentals of geotechnical engineering (4th ed). Cengage Learning.

2.1.7 Abrasión

El ensayo de abrasión se realiza para medir la cantidad de desgaste que existe en un determinado suelo, su nivel de alteración, baja resistencia estructural a la aplicación de carga, posibles planos que debiliten el material, cristalización y la forma de sus partículas (*Report on Soil Cement (ACI 230.1R-09)*, 2009a).

El ensayo se aplica en los agregados gruesos menores a 37,5 mm, los cuales permiten determinar la resistencia a la degradación aplicada mediante la máquina de los ángeles (*Report on Soil Cement (ACI 230.1R-09)*, 2009a).

Tabla 3.

Masa mínima que debe cumplir el espécimen del ensayo según la norma ASTM D75.

Tamaño de mallas (aberturas cuadradas)		Masa por tamaño indicado, g			
Pasando	Retenido	Graduación			
		A	B	C	D
37,5 mm (1 ½ pulg)	25,0 mm (1 pulg)	1 250 ± 25	-	-	-
25,0 mm (1 pulg)	19,0 mm (¾ pulg)	1 250 ± 25	-	-	-
19,0 mm (¾ pulg)	12,5 mm (1/2 pulg)	1 250 ± 10	2 500 ± 10	-	-
12,5 mm (1/2 pulg)	9,5 mm (3/8 pulg)	1 250 ± 10	2 500 ± 10	-	-
9,5 mm (3/8 pulg)	6,3 mm (1/4 pulg)	-	-	2 500 ± 10	-
6,3 mm (1/4 pulg)	4,75 mm (No.4)	-	-	2 500 ± 10	-
4,75 mm (No.4)	2,36 mm (No.8)	-	-	-	5 000 ± 10
Total		5 000 ± 10	5 000 ± 10	5 000 ± 10	5 000 ± 10

Nota: En la tabla 3, se exponen los métodos según graduación de las partículas del suelo, para realizar el ensayo de abrasión. Obtenido de: ASTM D75. (1997). Procedimiento normalizado para el muestreo de los áridos. <https://www.udocz.com/apuntes/168741/astm-d-75-97>.

La fórmula que se aplica para realizar el cálculo de desgaste de los ángeles está dada por:

$$\%desgaste = \frac{(P_i - P_f)}{P_i} * 100$$

En donde:

P_i= Peso inicial de la muestra antes de someterse al ensayo.

P_f= Peso final de la muestra

El ensayo ejerce golpes en una muestra de material con una carga abrasiva, esto se realiza dentro de un tambor metálico que gira a una velocidad determinada. La resistencia de los materiales a la abrasión indica la calidad de los agregados y determina su dureza. A continuación, en la figura 8, se puede observar la máquina de los ángeles, junto a las esferas con las que se realiza el ensayo de abrasión.

Figura 8.

Máquina de los Ángeles.



Nota: En la figura 8, se expone la máquina de los ángeles, instrumento con el cual se puede realizar el ensayo de abrasión. Realizado por: los autores.

2.1.8 Subrasante

La subrasante es el depósito de suelo natural que funciona como la cimentación de la estructura vial, este material puede ser el resultado final del movimiento de tierras que se puede dar debido al corte o relleno que se realice en la vía, sobre el cual se colocaran capas granulares. La subrasante previamente debe ser perfilada y compactada al 95% de la máxima densidad seca para realizar el emplazamiento de una vía (Gonzales, 2013).

Si la subrasante resulta ser un material de mala calidad se recomienda realizar una estabilización con una mezcla de materiales previamente clasificados (Gonzales, 2013).

2.1.9 Base Granular.

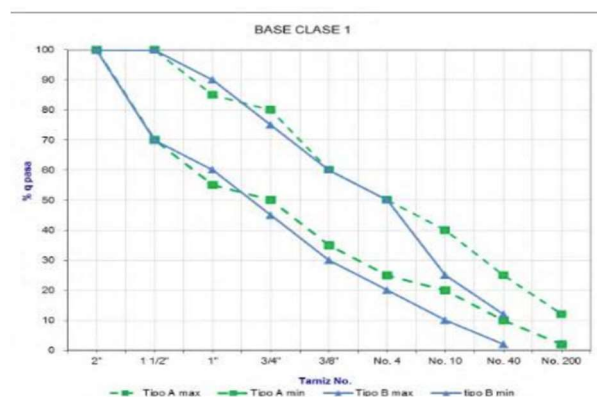
La Base Granular es un material conformado por agregados triturados total o parcialmente o cribados, compuestos por agregado fino resultante de la trituración. La Base Granular es material que generalmente se coloca sobre la sub Base Granular a subrasante, previamente preparada y aprobada, siendo parte fundamental de la estructura del pavimento (Gonzales, 2013).

Las Base Granulars se clasifican en:

Base Granular clase 1: Constituidas por agregados gruesos y finos que han sido triturados al 100% y que han sido evaluados mediante las franjas granulométricas indicadas para los tipos A y B (Gonzales, 2013.). A continuación, en la figura 9, se puede observar la faja granulométrica para realizar la clasificación de una Base Granular clase 1.

Figura 9.

Faja granulométrica Base Granular Clase 1.



Nota: En la figura 9, se expone la faja granulométrica para una Base Granular clase 1.

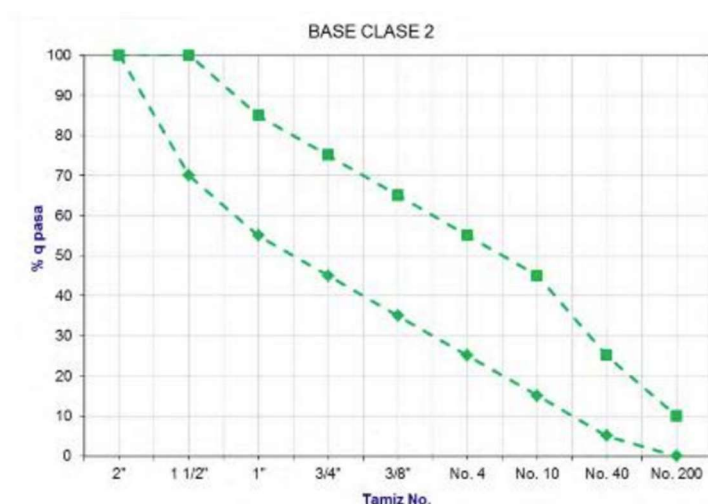
Recuperado de: Gonzales, I. B. C. (2013b). Arq. María de los Ángeles Duarte Pesantez.

- Base Granular clase 2: Constituida por material triturado al 50% en peso, conformado por roca o grava y que debe encontrarse dentro de los límites granulométricos que indica la figura 10 (Gonzales, 2013).

A continuación, en la figura 10, se puede observar la faja granulométrica para realizar la clasificación de una Base Granular clase 2.

Figura 10.

Faja granulométrica Base Granular Clase 2.



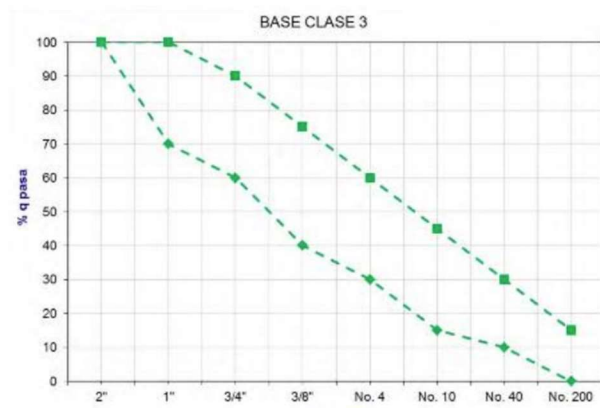
Nota: En la figura 10, se expone la faja granulométrica para una Base Granular clase 2.

Recuperado de: Gonzales, I. B. C. (2013b). Arq. María de los Ángeles Duarte Pesantez.

Base Granular clase 3: Constituida por fragmentos de roca o grava que se triturara al menos el 25% de su peso y se encuentran graduadas uniformemente siguiendo los límites granulométricos que se indican en la figura 11 (Gonzales, 2013a). A continuación, en la figura 11, se puede observar la faja granulométrica para realizar la clasificación de una Base Granular clase 3.

Figura 11.

Faja granulométrica Base Granular Clase 3.



Nota: En la figura 9, se expone la faja granulométrica para una Base Granular clase 1.

Recuperado de: Gonzales, I. B. C. (2013b). Arq. María de los Ángeles Duarte Pesantez.

- Base Granular clase 4: Constituidas por roca o grava que han sido obtenidas por trituración o cribado y que deben encontrarse dentro de los límites establecidos por la norma (Gonzales, 2013a).

Tabla 4.

Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada para Base Granular Clase 4.

TAMIZ		BASE CLASE 4	
		Mín.	Máx.
2''	50 mm		100
1''	25 mm	60	90
Nº 4	4.75 mm	20	50
Nº 200	0.075 mm	0	15

Nota: En la tabla 4, el porcentaje que pasa a través de los tamices de malla cuadrada para clasificar el material como una Base Granular clase 4. Recuperado de: ASTM D75. (1997).

Procedimiento normalizado para el muestreo de los áridos.

<https://www.udocz.com/apuntes/168741/astm-d-75-97>.

2.1.10 Mejoramiento del suelo por procedimientos mecánicos.

La estabilización de suelos por procedimientos mecánicos hace referencia a la aplicación de diferentes métodos mecánicos que mejoran el suelo considerablemente sin que este genere reacciones químicas relevantes (Jara Anyaypoma, 2014).

Los métodos de mejoramiento de suelo que sean escogidos siempre dependerán del tipo y uso de la estructura a construir y las condiciones que el suelo de fundación presente.

El procedimiento mecánico para mejoramiento del suelo es:

- Compactación.

2.1.11 Compactación de suelos.

La compactación en los suelos se refiere a la eliminación de espacios vacíos mediante la aplicación de energía, en los suelos con una humedad óptima, permitiendo que el suelo se mejore y no existan partículas sueltas que bajen la capacidad de carga del suelo. Para realizar esta práctica es necesario agregar agua al suelo y por medio de golpes o presión ejercer una compactación óptima (Rodríguez, 1992).

La compactación es el proceso más económico y utilizado a la hora de estabilizar un suelo y obtener la cantidad de espacios vacíos deseados (Rodríguez, 1992).

La energía de compactación es de gran influencia para el ensayo, dado que esta se puede ir modificando gradualmente según sea el requerimiento del suelo a compactar, la ecuación está dada por (Braja, 2015):

$$E = \frac{(N^{\circ} \text{ golpes} * \text{capa}) * (N^{\circ} \text{ de capas}) * (\text{Peso del martillo}) * (\text{Altura caída martillo})}{\text{Volumen del molde}}$$

2.1.12 Proctor estándar (Norma ASTM)

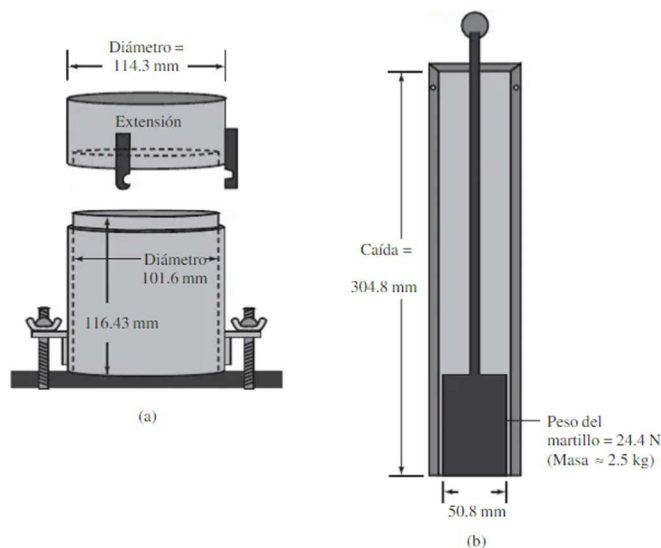
Esta prueba determina el peso volumétrico máximo de compactación y la humedad óptima en los suelos con tamaño superior a los 3/8 de pulgada. Sirve también para determinar la calidad de los suelos para absorber cargas (Jara Anyaypoma, 2014).

El procedimiento para realizar ensayo de Proctor estándar está dictado por la Norma ASTM D-698 y AASHTO T-99 (Braja, 2015).

La prueba inicia con una muestra de suelo que se compacta en un molde de 943.3 cm³ de volumen. El diámetro será de 10.16 cm. Al molde se le suma un collarín y una placa Base Granular inferior. El suelo se mezcla con diferentes cantidades de agua y se compacta en tres capas con igual contenido de humedad, se ejercen 25 golpes con un martillo estandarizado por capa, dicho martillo tiene un peso de 24.4 kg y tiene una caída de 30.48 cm (Braja, 2015). A continuación, en la figura 12, se puede observar un esquema del equipo que se usa para la prueba de Proctor estándar.

Figura 12.

Equipo para la prueba Proctor estándar según Braja, 2015.



Nota: En la figura 12 se expone un esquema del molde y del martillo que se usan para realizar la prueba de Proctor estándar en suelos. Recuperado de: Braja, M. D. (2015). Fundamentos de ingeniería geotécnica (Cuarta edición). Cengage Learning 2013.

El peso húmedo de compactación se puede calcular con la siguiente fórmula (Braja, 2015):

$$\gamma = \frac{W}{V_m}$$

En donde:

W= peso del suelo compactado en el molde sin collarín.

V_m= volumen del molde.

Y para el cálculo del contenido de humedad del suelo compactado que se determina en el laboratorio, cuando se desconoce el peso seco (γ_d) de la muestra, se calcula (Braja, 2015):

$$\gamma_d = \frac{\gamma}{1 + \frac{w(\%)}{100}}$$

En donde:

w (%) = porcentaje de contenido de humedad.

Para obtener el peso unitario seco máximo teórico sin espacios vacíos o cuando la saturación del material está al 100% está dado por la ecuación (Braja, 2015):

$$\gamma_{cva} = \frac{\gamma_w}{w + \frac{1}{G_s}}$$

En donde:

γ_{cva} = peso unitario con cero vacíos de aire.

γ_w = peso unitario de agua.

G_s = peso específico de sólidos del suelo.

w = contenido de humedad

2.1.13 Compactación mediante esfuerzos de prensa

La compactación mediante esfuerzos de prensa hace referencia a ejercer una compactación mediante la acción de la prensa hidráulica (usada para ensayar hormigones a compresión), con una carga previamente establecida. Dicha carga es obtenida a partir de la energía obtenida de Proctor Estándar, se usa esta energía dado que se realizará la comparación con este método de compactación ya conocido.

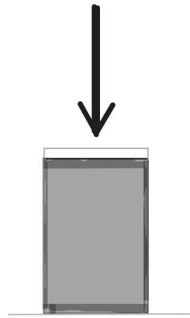
La compactación con prensa hidráulica es un método 100% experimental, no aplica ninguna normativa y tampoco especificaciones técnicas sobre su aplicación.

El ensayo inicia con una muestra de suelo a la cual se le agregan diferentes cantidades de agua, apegándose a los principios de la compactación de Proctor estándar, es decir, con el mismo molde que se usa en las pruebas, el mismo porcentaje adicionado de agua (mismo porcentaje, diferentes cantidades), la misma energía aplicada. Al tener las muestras con diferentes humedades, se somete a una compresión uniaxial (la fuerza se aplica en una sola dirección), que logra que las partículas del suelo se muevan en dirección de la fuerza aplicada haciendo que sus desplazamientos sean significativos. Hay que tomar en cuenta que el desplazamiento lateral de las partículas resulta ser muy poco significativa por lo que la aplicación de la fuerza gradualmente terminara eliminando un alto porcentaje de espacios vacíos en la muestra, obteniendo una muestra mucho más densa (Ventura et al., 2023).

Se toma en cuenta que es muy difícil lograr que la presión sea uniforme y se produzca una densidad uniforme ya que, se tiene un gran espesor de la muestra a compactar, por lo que dificulta la transmisión de carga (Ventura et al., 2023). A continuación, en la figura 13, se puede observar el esquema de aplicación de cargas mediante la prensa hidráulica en la muestra de suelo a compactar.

Figura 13.

Esquema de aplicación de cargas mediante la prensa hidráulica en la muestra de suelo a compactar.



Nota: En la figura 13 se muestra el esquema de aplicación de cargas mediante la prensa hidráulica en la muestra de suelo a compactar. Realizado por: los autores.

2.1.14 Estabilización de un suelo.

La estabilización de un suelo se entiende a un proceso por el cual los naturales son manipulados o reciben un tratamiento que mejore sus cualidades para ser aprovechadas, luego de este proceso se obtiene un asiento firme, estable y duradero que es capaz de resistir condiciones climáticas severas, la acción del tránsito y brindar un comportamiento óptimo geotécnicamente (Jara Anyaypoma, 2014).

Las propiedades que se mejoran en el suelo son (Jara Anyaypoma, 2014):

- Resistencia: Incrementa la capacidad de carga.
- Estabilidad volumétrica: Controla el hinchamiento-colapso por los cambios de humedad.
- Durabilidad.

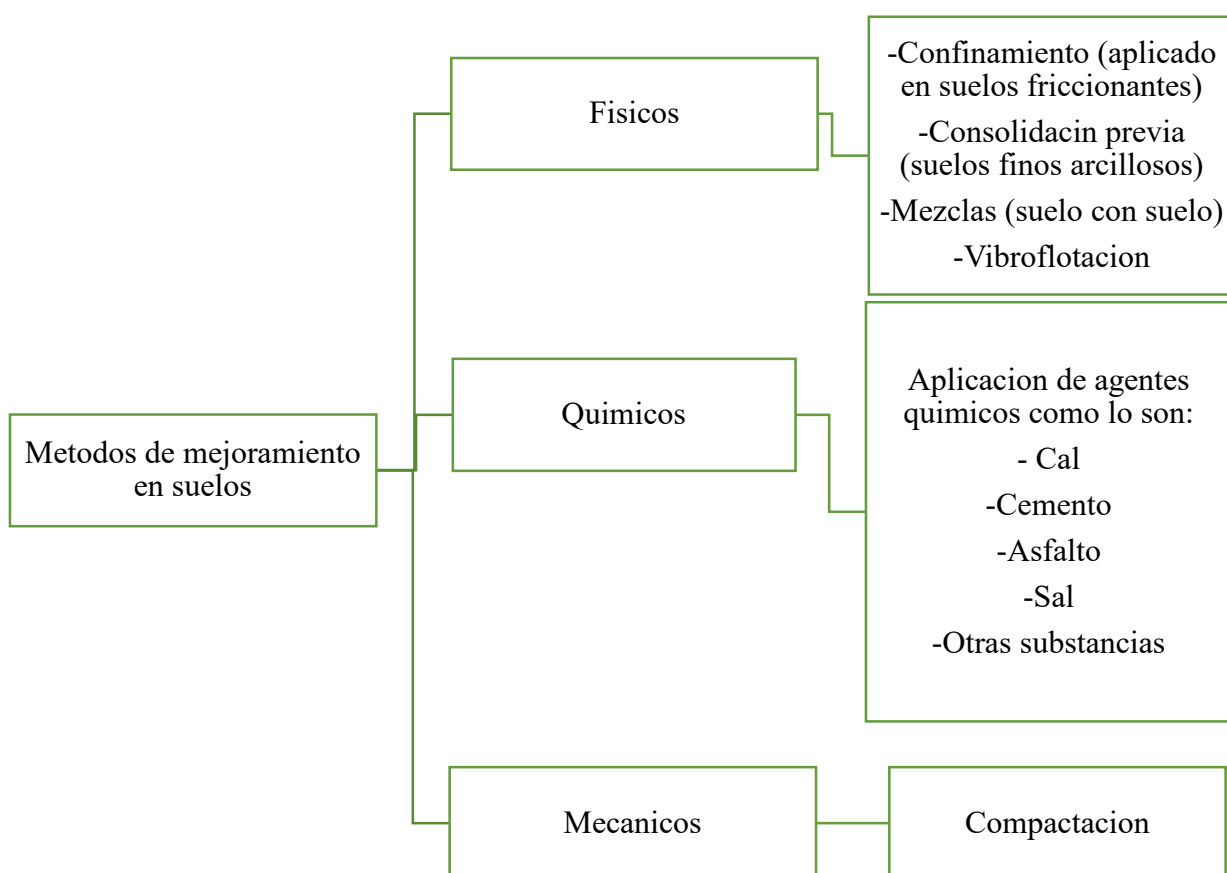
- Permeabilidad: disminuye la circulación del agua en el suelo mejorando su estabilidad.

2.1.15 Métodos de mejoramiento en suelos.

A continuación, se presenta un cuadro con los métodos de mejoramiento del suelo.

Figura 14.

Métodos de mejoramiento en suelos.



Nota: En la figura 14 se exponen los distintos métodos de mejoramiento de un suelo.

Realizado por: los autores.

2.1.16 Diseño de la mezcla suelo-cemento.

La mezcla de suelo-cemento es un proceso de estabilización química, ya que este consiste en mezclar un porcentaje del suelo a mejorar, con agua y cemento portland ASTM C150 Tipo I o II, que luego será compactado, obteniendo así densidades altas. Esta mezcla debe atravesar un proceso de curado para obtener un endurecimiento que brinde mayor resistencia a los esfuerzos a los que estará sometido el suelo. Esta práctica se realiza en el ámbito vial (Corral, 2008).

Se considera que todos los suelos son aptos para el mejoramiento con cemento, a excepción de las turbas o suelos con alto contenido orgánico. Hay que tomar en cuenta que los suelos recomendados para realizar el mejoramiento con cemento son aquellos que tienen un consumo mínimo de cemento y se logre una mezcla de calidad, es por eso que el número de suelos aptos se reduce (Montejo et al., 2018).

Los porcentajes de cemento óptimos para mejoramiento se encuentran entre el 5 y 12% con respecto a su peso, más allá de estos porcentajes se consideran suelos no aptos para la mezcla por el costo que implicaría su mejoramiento, para esto se recomienda buscar otras alternativas viables (Castillo, 2017).

Para el diseño de la mezcla se requiere clasificar el suelo previamente, ya que esto es de vital importancia. Para dicha clasificación se necesita conocer la granulometría del suelo a mejorar y sus límites de consistencia (Castillo, 2017). Se aplica el sistema de clasificación AASHTO para obtener los valores idóneos de porcentaje de mejoramiento en el suelo (Corral, 2008).

Tabla 5.

Porcentaje de cemento a aplicar para el mejoramiento de suelo según ACI 230. 1R-09.

Clasificación de suelos AASHTO	Clasificación de suelos ASTM	Rango típico de requisitos de cemento, * porcentaje por peso
A-1-a	GW, GP, GM, SO, SP, SM	3 a 5
A-1-b	GM, SM, SP	5 a 8
A-2	GM, GC, SM, SC	5 a 9
A-3	SP	7 a 11
A-4	CL, ML	7 a 12
A-5	ML, MH, CH	8 a 13
A-6	CL, CH	9 a 15
A-7	CH	10 a 16

Nota: En la tabla 5, se expone el porcentaje de cemento sugerido por la ACI para aplicar en el mejoramiento de suelo-cemento. Recuperado de: Report on soil cement (ACI 230.1R-09). (2009b). American Concrete Institute.

El agua es necesaria en el suelo cemento porque ayuda a tener una máxima compactación, se puede usar agua potable u otra agua que se considere limpia, que no se encuentren residuos orgánicos o cantidades dañinas de ácidos y aceites. Según la ACI el agua de mar ha sido utilizada satisfactoriamente, ya que, la presencia de cloruros en el agua aumenta las resistencias iniciales de la mezcla de suelo-cemento (*Report on Soil Cement (ACI 230.1R-09)*, 2009a).

La cantidad de agua se obtiene a partir del ensayo de Proctor previamente realizado, ya que, con este se obtiene la humedad óptima del material, brindando así la cantidad de agua exacta que se debe adicionar a la mezcla de suelo cemento (Corral, 2008).

2.1.17 Curado del suelo-cemento.

El curado del suelo cemento es fundamental, ya que si se realiza adecuadamente el suelo gana resistencia dependiendo del tiempo, la temperatura y la presencia de agua que se registre durante

este tratamiento. Por lo general, el curado en campo se realiza de 3 a 7 días, en los cuales se prohíbe el uso de maquinarias y equipos pesados, sin embargo, a menudo se permite el tráfico local ligero (*Report on Soil Cement (ACI 230.1R-09)*, 2009a).

Algunos métodos de curado aplican la aspersión de agua o recubrimientos bituminosos en campo, en el laboratorio se pueden realizar mejores métodos, ya que se obtiene más control sobre las muestras, para determinar cuál de estos métodos es el más idóneo al momento de aplicación en campo (*Report on Soil Cement (ACI 230.1R-09)*, 2009a).

Dentro de los métodos aplicados en el laboratorio se encuentran los denominados:

- Curado por capilaridad.
- Simulación de cámara húmeda.

Ambos métodos consisten en mantener las muestras húmedas durante su periodo de curado, ya sean 7, 14 o 28 días.

2.1.18 Curado por capilaridad.

El curado por capilaridad hace referencia a la capacidad de un material para absorber un líquido. Cuando más finos son los huecos que forman conductos en una piedra la capilaridad es mayor. Esta característica dependerá también de la afinidad del material con el líquido que se considere (Sanz Llano, 1975).

El curado por capilaridad consiste en establecer un recipiente formando una cámara en la cual se coloca una piedra porosa y posteriormente se agrega un porcentaje de agua, la cual ascenderá por la piedra porosa permitiendo que las muestras que se encuentran en la parte superior de la piedra reciban humedad sin estar en contacto directo con el agua.

2.1.19 Curado por simulación de cámara húmeda.

La cámara húmeda se define como un mecanismo que crea un entorno determinado que permite someter a las muestras a condiciones de humedad controladas y ver cómo reaccionan las mismas.

La simulación de cámara húmeda consiste en tener un recipiente hermético en el cual se permita ingresar agua, posteriormente se coloca una Base Granular con agujeros que permiten el paso de la evaporación del agua, haciendo que esta se acumule en la tapa del recipiente generando un ambiente húmedo que permite que las muestras se mantengan en óptimas condiciones durante el periodo de curado establecido.

Hay que tomar en cuenta que las muestras de suelo-cemento en ningún momento tienen contacto directo con el agua colocada bajo la rejilla.

2.2 Metodología

Para cumplir con los objetivos establecidos se requiere iniciar con la obtención del suelo que posteriormente será mejorado.

El material clasificado previamente, conocido como Base Granular, se obtendrá de la compra en una minera del sector de “El Descanso”, perteneciente a la Provincia del Azuay. El material conocido como subrasante, se obtendrá de la excavación para la ejecución de una vía, en el Cantón Paute de la Provincia del Azuay.

El material será extraído con la ayuda de una retroexcavadora a una profundidad de 1.5m, para luego ser trasladado junto al material conocido como Base Granular al laboratorio para realizar los ensayos.

Para realizar las perforaciones del terreno se recomienda realizar calicatas a 1.5 m de profundidad, esto se da para construcción de carreteras. Dicha perforación permite determinar la calidad del suelo, viendo sus variaciones, además permitirá identificar el nivel freático, siendo estos factores importantes para realizar un diseño adecuado del pavimento y a su vez esta permite establecer el mejoramiento idóneo para el tipo de suelo encontrado (Montejo, 2002).

Según el manual Norma Ecuatoriana Vial del Ministerio de Transporte y Obras Públicas (NEVI -12 -MTO), se recomienda realizar calicatas con una profundidad mayor a un metro, ya que, se estima que a esta profundidad el suelo se encuentra sin alteración alguna, permitiendo realizar un estudio de suelo idóneo para el diseño de pavimentos (Gonzales, 2013a).

Se realizará el ensayo de granulometría de acuerdo a la normativa (American Society for Testing and Materials o ASTM International) ASTM C 136- 01, en la cual consiste en la separación de agregados según sus tamaños respectivos mediante la implementación de mallas de diferente abertura, y de esta manera se identificará las cantidades en peso de cada tamaño que aportaría el peso total y mediante interpretación de gráficos, cálculos respectivos se tendrá la distribución granulométrica que posee el material.

Se aplicará el ensayo de Desgaste de los Ángeles o Abrasión de acuerdo a la normativa ASTM C – 131, (American Association Standards Highway Transportation Officials) AASHTO T96, en los dos materiales, el cual consiste en establecer un estimado de desgaste que por medio de un conjunto determinado de esferas metálicas el material se somete a trituración. Los agregados deben ser capaces de resistir el desgaste irreversible y degradación durante la producción, colocación y compactación de las obras de pavimentación y sobre todo durante la vida de servicio del pavimento, debido a las condiciones de esfuerzo-deformación.

Se desarrollará el ensayo de Límites de Atterberg de acuerdo a la normativa ASTM D4318 en la cual se obtendrá el Límite Líquido, Límite Plástico e Índice de Plasticidad, mismos parámetros que serán usados para obtener la clasificación de suelo de acuerdo al Sistema SUCS y AASHTO.

Se realizarán dos tipos de compactaciones en los dos materiales sin mejorar, en el laboratorio:

Compactación estándar ASTM D698 y AASHTO T99, AS 1289-E1.1, está será aplicada en las muestras de suelo sin mejorar, en la prueba de compactación estándar, el suelo se compacta en un molde en 3 a 5 capas iguales, cada capa recibe 25 golpes de un martillo de peso estándar.

En la aplicación del método experimental bajo esfuerzos de prensa, se supone aplicar una carga previamente establecida a un cilindro estándar para pruebas de Proctor estándar. En este se encontrará material de suelo sin compactar, en el cual se aplicará una carga hasta que la curva esfuerzo-deformación empiece a descender hasta llegar a un punto en el que se mantenga la curva. Esto hará que se reduzcan al máximo los espacios vacíos en el ejemplar, alcanzando una compactación óptima.

Una vez realizada la compactación, se realizará una comparación sobre cuál de los dos trabaja efectivamente y si se podría implementar el método experimental propuesto en futuros emplazamientos de obras civiles.

Dichos ensayos servirán para realizar el diseño de la mezcla suelo-cemento. El porcentaje de cemento y humedad a aplicar en el mejoramiento se obtendrá de la clasificación del suelo y la bibliografía previamente establecida.

Posteriormente se realizarán los cilindros en los cuales se adiciona la mezcla de suelo-cemento diseñada y se aplicará la compactación de Proctor estándar. El cemento que se adicionará debe ser cemento portland recomendado para vías según la ACI.

Se obtendrán un total de 48 muestras de los dos materiales, las cuales se someterán a dos diferentes métodos de curado, conocidos como curado por capilaridad y simulación de cámara húmeda. Los cuales se ensayarán a los 7, 14 y 28 días, para obtener la resistencia de dichas muestras.

Una vez obtenida la resistencia se realizará la comparación de los dos métodos de curado y compactado, para establecer una recomendación sobre cuál de los dos brinda una mejor resistencia y cual sería aplicable para el curado óptimo del suelo-cemento en campo.

Capítulo III: Ensayos de laboratorio

3.1 Ensayos de laboratorio

3.1.1 Ensayos realizados en material: Base Granular.

3.1.1.1 Ensayo de granulometría.

El análisis granulométrico de los áridos se realiza siguiendo la norma ASTM-C-136-01.

A continuación, se presentan los ensayos granulométricos realizados en el material conocido como Base Granular. Este procedimiento consiste en realizar el análisis de la distribución de tamaño de partículas en un suelo, a través de tamices, para determinar sus propiedades físicas y a su vez realizar una clasificación apropiada. Lo primero que se realiza es el muestreo, al seleccionar la muestra de suelo, este debe presentar una variación mixta entre sus agregados, para lograrlo se inicia el proceso cuarteando el material, es decir se divide en 4 porciones el material y se seleccionan dos porciones opuestas para el análisis, como se indica en la figura 15.

Figura 15.

Proceso de cuarteo para homogenización de la muestra de Base Granular.



Nota: En la figura 15, se expone el proceso de homogenización del material que se va a ensayar para tener una distribución de partículas óptima. Realizado por: los autores.

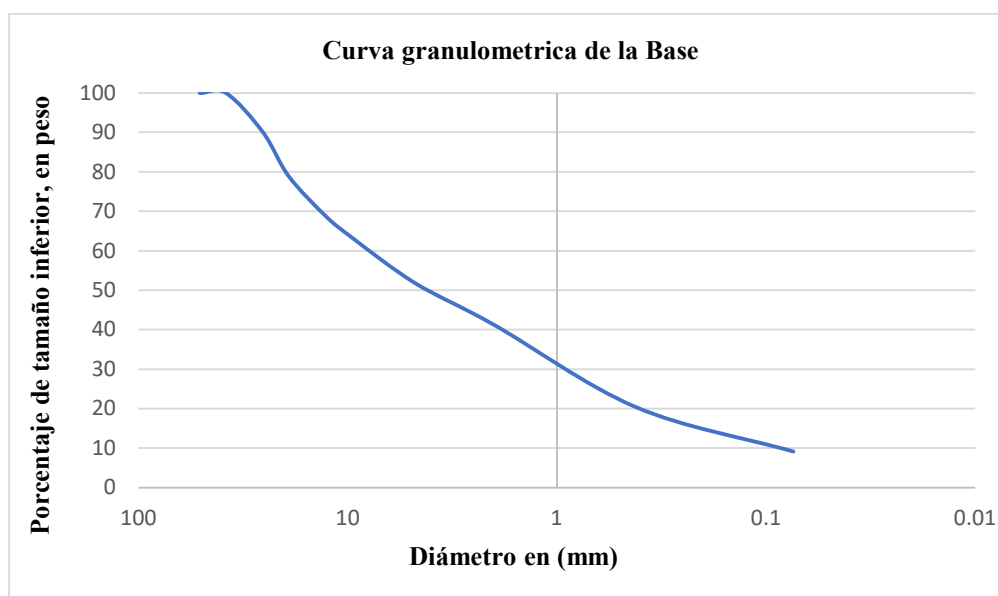
Una vez aplicado el primer paso se procede a determinar el peso del material, se colocan los tamices en el orden requerido y se agita el material en los tamices, manual o mecánicamente.

Luego se determina la masa que se retiene en cada tamiz y se registran los datos en el formato establecido por el laboratorio.

Tras realizar los ensayos se obtuvo la curva granulométrica de la figura 16.

Figura 16.

Curva granulométrica de la Base Granular.



Nota: En la imagen 16 se expone la curva granulométrica de la Base Granular. Realizado por: los autores.

Resultado: En una muestra de 14515 gr, la distribución granulométrica indica que; el 78.87% de material pasa el tamiz N° 3/4, el 51.83% pasa por el tamiz N° 4, el 41.31% pasa por el tamiz N°10 y el 9.19% pasa por el tamiz N° 200. *Revisar Anexo 1.*

A continuación, en la tabla 6, se pueden observar los límites, superior e inferior para clasificar el material en la faja granulométrica, de la Base Granular.

Tabla 6.

Límite superior e inferior para clasificación de material para Base Granular tipo I A.

TAMIZ	ABERTURA (mm)	% PASA	ESPECIFICACIONES NORMA	
			LIMITE SUPERIOR	LIMITE INFERIOR
3''	76,2	0		
2 1/2 ''	63,5	0		
2''	50,8	100	100	
1 1/2 ''	38,1	100	100	70
1''	25,4	90,07	90	60
3/4''	19,1	78,88	75	45
1/2''	12,7	68,76		
3/8''	9,52	63,32	60	30
Nº4	4,76	51,84	50	20
10	2	41,31	25	10
40	0,42	20,42	12	2
200	0,074	9,19		

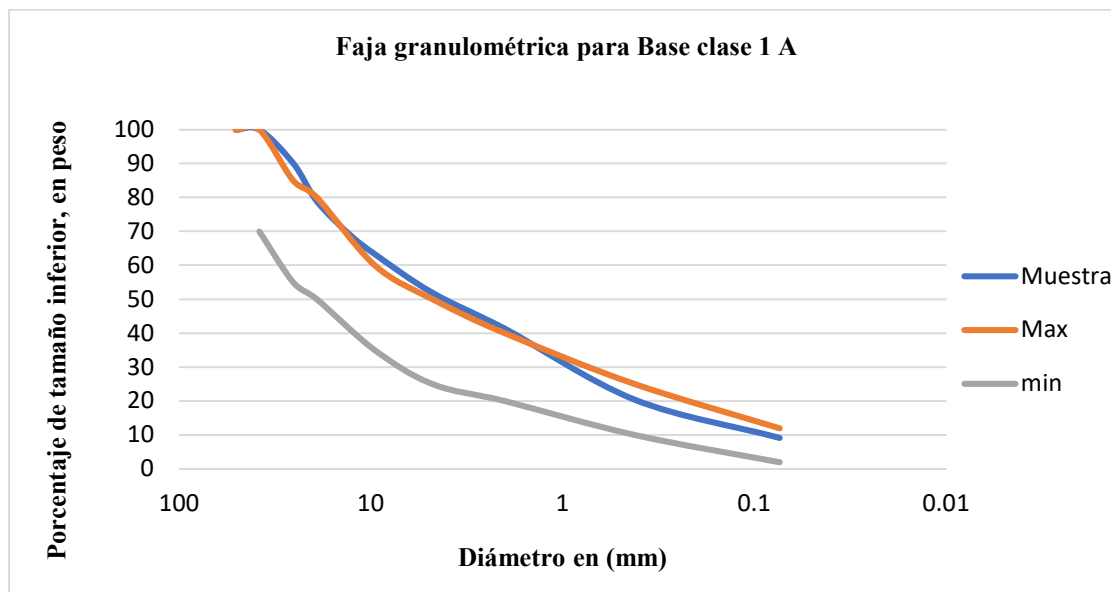
Nota: En la tabla 6, se expone la faja granulométrica con los límites superior e inferior.

Recuperado de: Gonzales, I. B. C. (2013a). Arq. María de los Ángeles Duarte Pesantez.

En la figura 17, se indica la franja granulométrica con los límites superior (color naranja) e inferior (color plomo), que permiten clasificar la Base Granular.

Figura 17.

Faja granulométrica para Base Granular clase 1 A.



Nota: La imagen 17, expone la faja granulométrica para una Base Granular clase 1 A.

Realizado por: los autores

Resultado: De acuerdo con los requisitos que debe cumplir el material para clasificarse como Base Granular en la tabla 6, se puede establecer que el material está dentro del límite superior, ajustándose a una Base Granular clase 1 A.

3.1.1.2 Ensayo estándar de los Límites de Atterberg.

Límite Líquido en la Base Granular (LL):

El ensayo se realiza con una muestra de 100gr aproximadamente, esta muestra previamente debió pasar por el tamiz N°40 y se mezcla con agua hasta obtener una especie de pasta homogénea (Bowles, 1990).

Resultado: En el caso de la Base Granular analizar la ranura se cerró al primer golpe, esto quiere decir que el material tiene un límite líquido nulo.

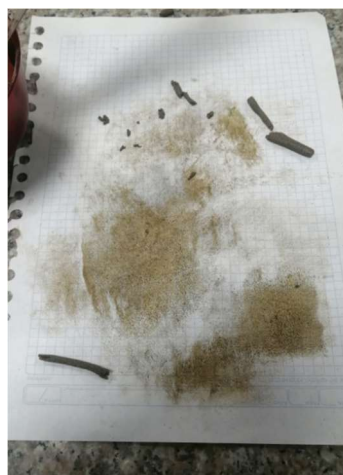
Límite Plástico en la Base Granular (LP):

Para el límite plástico se requiere una pequeña porción del material del ensayo de límite líquido, se requiere amasar esta porción de suelo sobre una hoja de papel con la palma de la mano hasta que estos formen tubos de 3mm de grosor aproximadamente. Se requieren realizar dos o tres ensayos de dichas muestras (Bowles, 1990).

Resultado: En el caso de la Base Granular se determina que es un material NO PLASTICO, por la dificultad que se presenta al realizar los tubos, el material tiende a romperse inmediatamente, sin poder disminuir el diámetro de la porción de masa, como se muestra en la figura 18.

Figura 18.

Ensayo de Límites de consistencia.



Nota: En la imagen 18 se expone el ensayo de límites de plasticidad en la Base Granular.

Realizado por: los autores.

3.1.1.3 Clasificación según SUCS.

Para realizar la clasificación SUCS, se recomienda revisar la Tabla 1, en el Capítulo II.

Resultado: Según la carta de plasticidad y la granulometría del material, junto con sus límites de consistencia, el material se puede considerar como SW-SM, es decir, Arena bien graduada-Arena limosa, debido a que el porcentaje que pasa el tamiz N°4 es mayor al 50%, el porcentaje que pasa el tamiz N°12 es menor al 12% y mayor al 5% y no se obtiene Limite Liquido ni Índice de Plasticidad.

3.1.1.4 Clasificación según AASHTO.

Para realizar la clasificación AASHTO, se recomienda revisar la Tabla 2, en el Capítulo II.

Resultado: Según la carta de plasticidad y la granulometría del material, junto con sus límites de consistencia, el material se puede considerar como un suelo A-1-a, debido a que está compuesto por gravas y arenas, el Índice de Plasticidad es cero por lo que cumple la condición de ser menor a 6 y el porcentaje máximo pasante del tamiz N°200 es del 15%, en este caso el porcentaje pasante del tamiz N°200 de la muestra es de 9.2%, el porcentaje pasante del tamiz N°40 es máximo del 30%, en el caso de la muestra se obtiene un porcentaje de 20.42% y del tamiz N°10 el máximo permitido es del 50%, en el caso de la muestra se obtiene el 41.31%, cumpliendo así con todos los parámetros indicados en la carta para clasificarse como un suelo A-1-a.

3.1.1.5 Ensayo de abrasión.

Antes de realizar el proceso se determina que normativa usar en función de la granulometría en este caso se seleccionó la ASTM C 131. Este ensayo ayuda a medir la resistencia del suelo al

desgaste que este puede sufrir por abrasión. Se interpretan los resultados pesando la pérdida de masa que el suelo adquiere al ser expuesto a diferentes ciclos de abrasión.

El ensayo de abrasión de la ASTM C-131 se realiza exclusivamente para agregados gruesos hasta de 37,5 mm o 1 ½ pulgadas. En el caso de esta tesis se ha usado el método A, ya que el peso del material escogido se queda retenido entre los tamices de 1 pulgada y de 3/8 de pulgada, siendo estos cuatro tamices en los que se retiene 1250 ± 25 y ± 10 , dando un total de 5000 ± 10 gramos, en este método se emplean las 12 esferas para la abrasión y 500 revoluciones del tambor.

En la tabla 7, se indican los métodos que se deben emplear, esto va a depender directamente de la granulometría obtenida del material.

Tabla 7.

Ensayo de abrasión.

ABERTURA DE LOS TAMICES EN (mm)		Peso del material según el tipo de gradación	GRADACIÓN			
			Tipo A	Tipo B	Tipo C	Tipo D
Pasante	Retenido					
37,5	25	1250	1250±25			
25	19	1253	1250±25			
19	12,5	1250	1250±25	1250±25		
12,5	9,5	1253	1250±25	1250±25		
9,5	6,3				1250±25	
6,3	4,75				1250±25	
4,75	2,36					5000±10
total		5006	5000±10	5000±10	5000±10	5000±10

Nota: En la tabla 7 se expone la gradación para realizar el ensayo de abrasión dependiendo de la abertura de los tamices. Recuperado de: ASTM D75. (1997). Procedimiento normalizado para el muestreo de los áridos. <https://www.udocz.com/apuntes/168741/astm-d-75-97>.

Para realizar el ensayo de abrasión se requiere que el material a ensayar sea el agregado grueso retenido entre el tamiz de 1" y el de 3/8" de pulgada, este material se limpia con un cepillo de acero y se coloca junto a cierto número de esferas en la máquina de los ángeles, esta se programa con un número de revoluciones específicas y luego se pesa el material que se retiene en el tamiz #12 (Bowles, 1990).

Resultado: Se puede observar que según la Norma ASTM C 131, se establece el Método A, en el cual se usan un total de 12 esferas y 500 revoluciones en un periodo de 15 minutos, esta aplicación genera un desgaste de 20.74%, estableciendo al material como bueno ya que según la normativa el desgaste máximo en una Base Granular es menor al 40%. Revisar *Anexo 2*.

3.1.1.6 Ensayo de compactación utilizando energía estándar (Proctor estándar).

A continuación, en la figura 19, se puede observar la aplicación de compactación con Proctor estándar.

Figura 19.

Aplicación del ensayo de Proctor estándar.



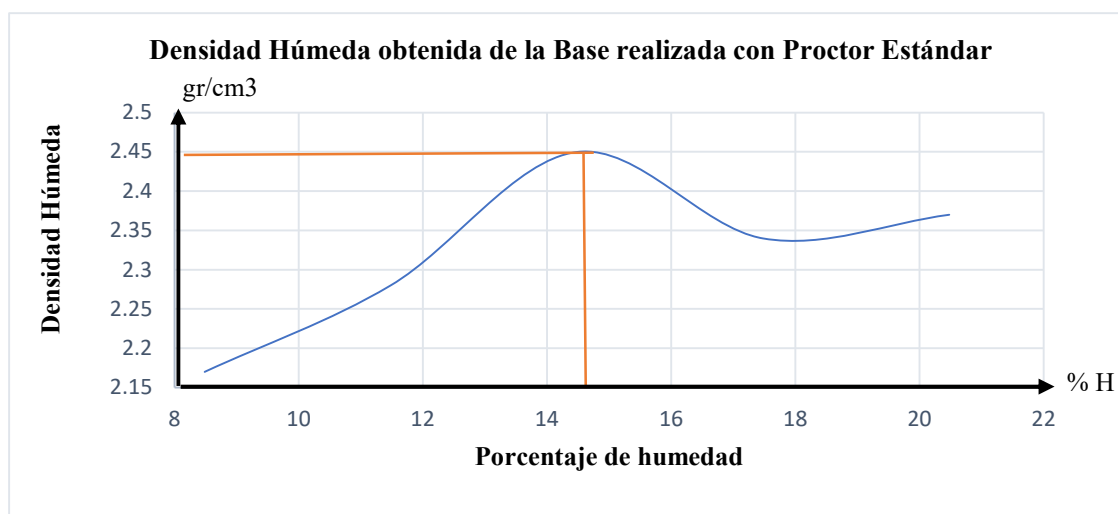
Nota: En la figura 19, se expone la aplicación del ensayo de Proctor estándar en la muestra de suelo. Realizado por: los autores.

El ensayo de compactación por Proctor estándar sigue la normativa: ASTM D698 y AASHTO T99, AS 1289-E1.1. El ensayo fue aplicado en muestras de suelo sin mejorar, compactando en 3 capas de espesores iguales, cada capa recibe un total de 25 golpes con el peso de un martillo estándar, estas muestras ayudan a obtener la densidad máxima, arrojando datos como la humedad óptima del material a compactar. Revisar *Anexo 3*.

A continuación, en la figura 20 se observa la densidad máxima húmeda y en la figura 21 se observa la densidad máxima seca de la Base Granular.

Figura 20.

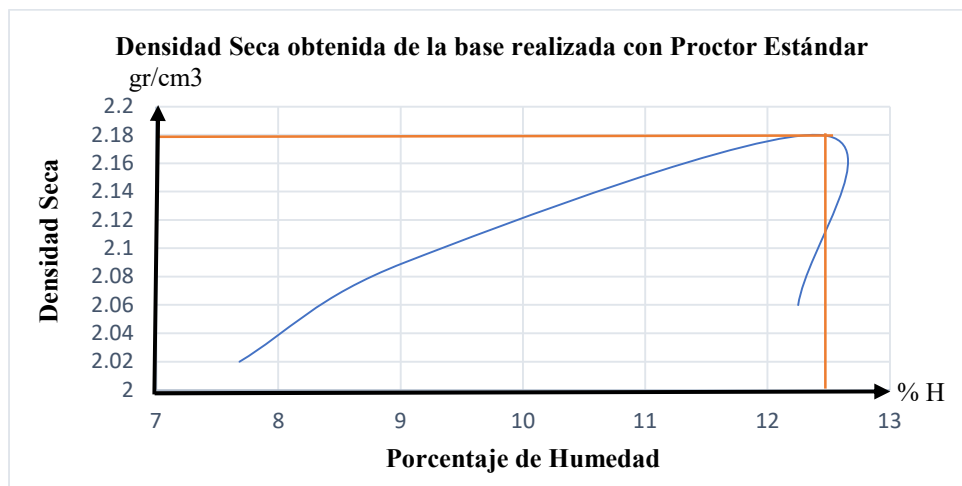
Densidad Húmeda obtenida de la Base Granular realizada con Proctor Estándar



Nota: En la figura 20, se exponen los resultados del ensayo de Proctor estándar. Realizado por: los autores.

Figura 21.

Densidad seca obtenida de la Base Granular realizada con Proctor Estándar,



Nota: En la figura 21, se exponen los resultados del ensayo de Proctor estándar. Realizado por: los autores.

Resultado: Se puede observar que según la Norma ASTM D698 y AASHTO T99, AS 1289-E1. A partir de este ensayo se determinó la cantidad de agua, la humedad óptima. La densidad húmeda de la muestra da como resultado que con una humedad de 14.5% se obtiene una densidad máxima de 2.46 g/cm³.

La densidad seca de la muestra da como resultado que con una humedad de 12.4% se obtiene una densidad máxima de 2.18 g/cm³.

3.1.1.7 Ensayo de compactación utilizando la prensa hidráulica.

A continuación, en la figura 22 se presenta la aplicación del ensayo de compactación bajo esfuerzos de prensa.

Figura 22.

Aplicación de compactación de la muestra de Base Granular bajo esfuerzos de prensa.



Nota: En la figura 22, se expone el proceso de la compactación bajo esfuerzos de prensa.

Realizado por: los autores.

Según Braja, en su fórmula para obtener la energía, se toma en cuenta cuantas capas y cuantos golpes se aplican y esto da una sola energía, mediante el resultado se decidió rellenar el molde dejando el menor porcentaje de vacíos y aplicando la carga total con la prensa.

Para la aplicación de la compactación bajo esfuerzos de prensa, dado que es un método experimental propuesto por los tesisistas, se ha utilizado la ecuación de la energía de compactación brindada por Braja M. Das, en la cual se expone:

$$E = \frac{(N^{\circ} \text{ golpes} * \text{capa}) * (N^{\circ} \text{ de capas}) * (\text{Peso del martillo}) * (\text{Altura caída martillo})}{\text{Volumen del molde}}$$

Con un resultado de:

$$E= 630.204 \text{ kN/m}^2$$

Una vez obtenido el esfuerzo de compactación, aplicando las mismas condiciones de Proctor estándar y un molde único obtenido en el laboratorio, se aplica una carga dada por la ecuación:

$$E = \frac{F}{A}$$

En la cual se obtiene:

$$F = E * A$$

Siendo:

E= esfuerzo de compactación

F= Fuerza de compactación

A= Área de compactación

Obteniendo una fuerza de compactación de:

$$\mathbf{F= 514.865 \text{ kgf}}$$

Esta fuerza es aplicada desde la prensa con una velocidad de aplicación constante a las probetas que son compactadas, obteniendo de esta manera sus densidades máximas.

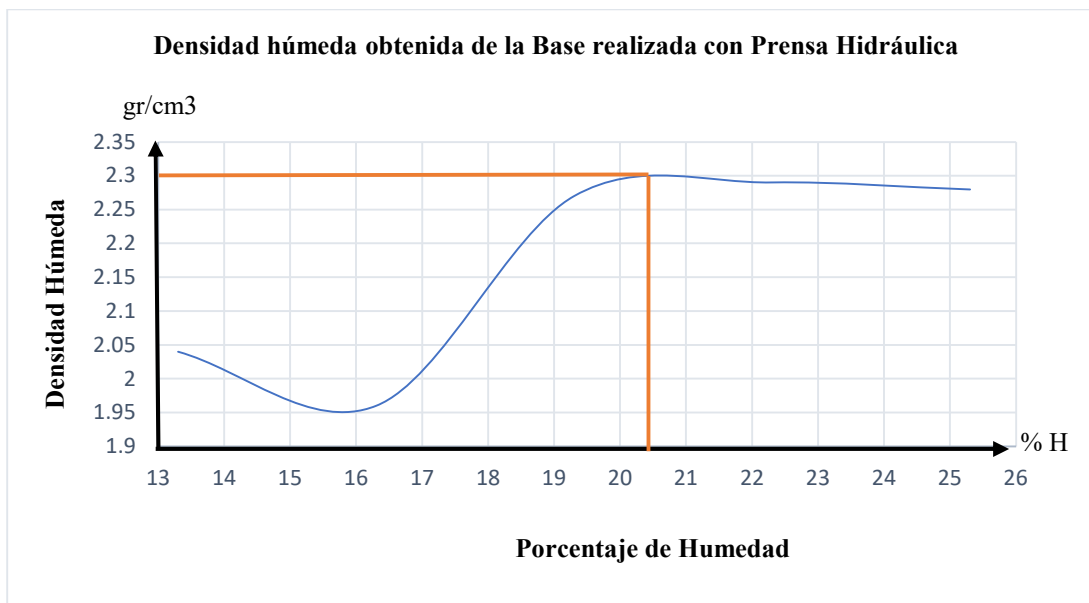
Al aplicar esta fuerza en el suelo se pueden evidenciar efectos en términos de compactación y compresión, dado que las partículas del suelo tienden a comprimirse con la aplicación de una carga reduciendo su volumen aparente, lo cual puede llevar un aumento en la densidad aparente del suelo en donde se aplicó la fuerza (Blanco, 2009).

Cabe recalcar que la prueba ha sido ejecutada en las mismas condiciones de aplicación con la que se realiza la compactación estándar. Revisar *Anexo 4*.

A continuación, en la figura 23, se observa la densidad máxima húmeda y en la figura 24, se observa la densidad máxima seca de la Base Granular, aplicando la compactación bajo esfuerzos de prensa.

Figura 23.

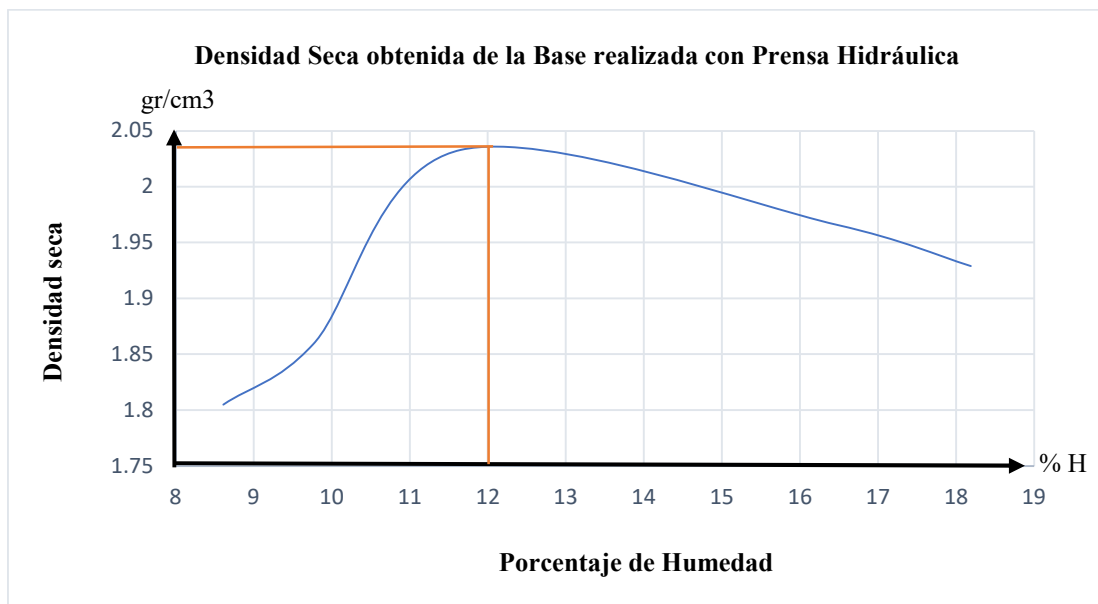
Densidad húmeda obtenida de la Base Granular realizada con prensa hidráulica.



Nota: En la figura 23, se exponen los resultados del ensayo de compactación bajo esfuerzos de prensa. Realizado por: los autores.

Figura 24.

Densidad seca obtenida de la Base Granular realizada con prensa hidráulica. 6



Nota: En la figura 24, se exponen los resultados del ensayo de compactación bajo esfuerzos de prensa realizados en la Base Granular. Realizado por: los autores

Resultado: A partir de este ensayo se determinó la cantidad de agua, la humedad óptima. La densidad húmeda de la muestra da como resultado que con una humedad de 20.6% se obtiene una densidad máxima de 2.3 g/cm³.

La densidad seca de la muestra da como resultado que con una humedad de 12% se obtiene una densidad máxima de 2.04 g/cm³.

3.1.1.8 Diseño y conformación de la mezcla suelo-cemento.

Según la tabla 4, para el tipo de suelo que se obtuvo en la clasificación según SUCS y AASHTO, como un suelo A-1-a (según AASHTO). A la mezcla se le aplicó el máximo porcentaje de cemento permitido por la norma, que es el 5% del total de peso de los finos.

Es decir, se reemplazó el 5% de peso de los finos por la cantidad de cemento especificada por la norma.

En el ensayo se tomaron 24 muestras de 2500 gr de la cual se obtuvo un porcentaje de 33.37% de material grueso y el 66.63% de material fino, posteriormente dicho material se compacto mediante la prensa hidráulica y Proctor estándar.

En la figura 25, se expone la mezcla de agua con suelo-cemento.

Figura 25.

Mezcla de la Base Granular con Cemento.



Nota: En la figura 25, se expone el procedimiento de la mezcla de la Base Granular con cemento. Realizado por: los autores.

Resultado: Se dividieron en dos grupos de muestras, 12 para compactación mediante prensa hidráulica, tomando en cuenta que se ensayan los cilindros a los 7,14 y 28 días de curado, a su vez estos se dividen en dos subgrupos para aplicación de métodos de curado y 12 para compactación mediante Proctor estándar, también tomando en cuenta que se ensayaran a los 7,14

y 28 días de curado, empleando la misma división en dos subgrupos para aplicar dos distintos métodos de curado.

3.1.1.9 Aplicación de métodos de curado.

Luego de haber realizado la mezcla suelo-cemento y elaboración de los cilindros en los moldes de Proctor estándar, las muestras pasan por un proceso de curado, el cual consiste en mantener húmedas a las muestras mediante dos métodos propuestos por los tesistas.

El primer método se conoce como curado por capilaridad y el segundo método es el curado por simulación de cámara húmeda. Ambos métodos han sido aplicados en el mejoramiento de Base Granular-cemento, aplicando los dos métodos de compactación, tanto la compactación por Proctor estándar y la compactación por prensa hidráulica.

En la figura 26 y 27, se expone el curado por capilaridad y simulación cámara húmeda respectivamente.

Figura 26.

Curado por capilaridad de las muestras Base Granular-Cemento por Prensa Hidráulica.



Nota: En la figura 26, se expone el procedimiento de curado por capilaridad en la muestra de suelo cemento. Realizado por: los autores

Figura 27.

Curado por simulación de cámara húmeda de las muestras Base Granular-Cemento por Prensa Hidráulica.



Nota: En la figura 27, se exponen los resultados del curado por simulación de cámara húmeda.

Realizado por: los autores

En el proceso se realizan 12 cilindros para curado por capilaridad mediante los dos métodos de compactación previamente mencionados, es decir, seis cilindros para cada método de compactación, a los cuales se les aplicara el método de curado por capilaridad durante un periodo de 7-14 y 28 días, obteniendo dos cilindros por cada periodo de tiempo.

Para el curado por cámara húmeda, también se realizan 12 cilindros, que se dividirán en dos grupos a los cuales se les aplicaran los dos métodos de compactación anteriormente mencionados, es decir, para cada compactación por este proceso de curado se realizan seis cilindros que se ensayaran a los 7-14 y 28 días, dos cilindros en cada ensayo.

En la figura 28 y 29, se expone la compactación por Proctor estándar y bajo esfuerzos de prensa.

Figura 28.

Compactación de las muestras de Base Granular-Cemento por Proctor estándar.



Nota: En la figura 28, se expone la compactación por medio del ensayo de Proctor estándar.

Realizado por: los autores

Figura 29.

Compactación de las muestras de Base Granular-Cemento por esfuerzos de prensa.



Nota: En la figura 29, se exponen el proceso de compactación bajo esfuerzos de prensa.

Realizado por: los autores.

Se obtiene un total de 24 muestras para la mezcla Base Granular-cemento.

Una vez hayan transcurrido los 7-14 y 28 días de curado mediante los dos procesos, las muestras se sacan de las cámaras de curado y se dejan en el horno durante 12 horas a una temperatura constante de 100° C. Una vez que ha transcurrido el tiempo de secado se sacan las muestras del horno, se enfrían y se mide el diámetro, altura y peso, de cada cilindro, al obtener estos datos los cilindros se someten a la prueba de compresión en la prensa hidráulica, para obtener su resistencia.

En la figura 30, se pueden observar las muestras que se dirigen al horno tras los procesos de curado.

Figura 30.

Secado en el horno de las muestras Base Granular-Cemento previo a ensayo de compresión simple.



Nota: En la figura 30, se exponen el proceso de secado de muestras en el horno. Realizado por: los autores.

3.1.2 Ensayos realizados en material: Subrasante.

3.1.2.1 Ensayo de granulometría.

El análisis granulométrico de los áridos se realiza siguiendo la norma ASTM-C-136-01.

A continuación, se presentan los ensayos granulométricos realizados en el material conocido como subrasante o suelo natural. Este procedimiento consiste en realizar el análisis de la distribución de tamaño de partículas en un suelo, a través de tamices, para determinar sus propiedades físicas y a su vez realizar una clasificación apropiada.

Lo primero que se realiza es el muestreo, al seleccionar la muestra de suelo, este debe presentar una variación mixta entre sus agregados, para lograrlo en este tipo de material se obtiene una muestra que luego se somete al lavado para eliminar todos los restos orgánicos que este contenga, una vez la muestra quede totalmente limpia se procede a dejarlo secar en el horno durante un periodo de 24 a 48 horas.

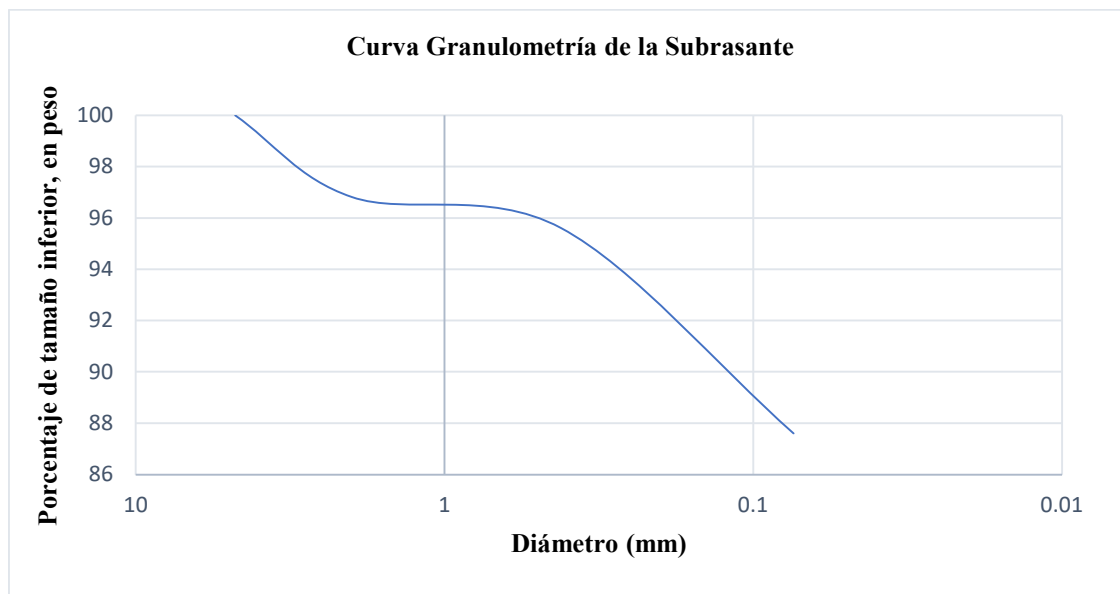
Una vez aplicado el primer paso se procede a determinar el peso del material, se colocan los tamices en el orden requerido y se agita el material en los tamices, manual o mecánicamente.

Luego se determina la masa que se retiene en cada tamiz y se registran los datos en el formato establecido por el laboratorio.

Tras realizar los ensayos se obtuvieron los siguientes resultados, que se pueden observar en la figura 31:

Figura 31.

Curva granulométrica de la subrasante.



Nota: En la figura 31, se exponen la curva granulométrica de la subrasante. Realizado por: los autores.

Resultado: En una muestra de 500 gr, la distribución granulométrica indica que; el 100% de material pasa el tamiz N° 3/4, el 100% pasa por el tamiz N° 4, el 96.82% pasa por el tamiz N°10 y el 87.60% pasa por el tamiz N° 200. Así es como se puede considerar que el suelo está compuesto mayoritariamente de partículas finas. Revisar *Anexo 5*.

3.1.2.2 Ensayo estándar de los Límites de Atterberg.

Limite Liquido en la subrasante o suelo natural (LL):

El ensayo se realiza con una muestra de 100gr aproximadamente, esta muestra previamente debió pasar por el tamiz N°40 y se mezcla con agua hasta obtener una especie de pasta homogénea (Bowles, 1990). Revisar *Anexo 6*.

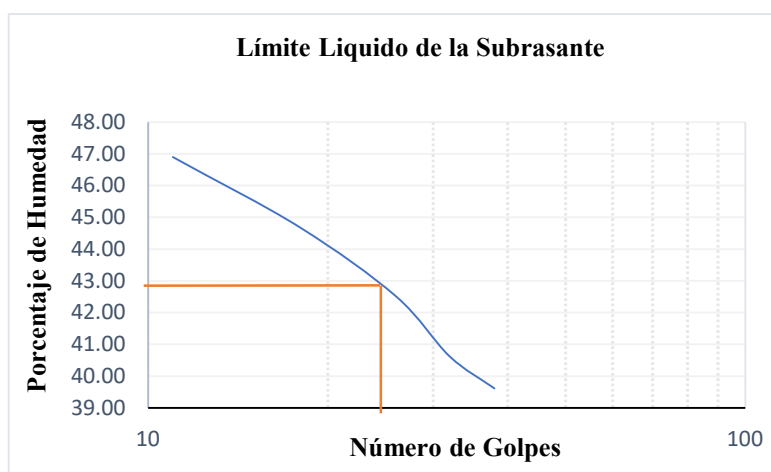
En la figura 32, se pueden observar los resultados del ensayo de limite líquido, se puede observar en la tabla que contiene la figura, el número de golpes y el porcentaje de humedad obtenido.

Figura 32.

Resultados del ensayo de Limite Liquido.

GRAFICO	
GOLPES	%H
38	39,62
32	40,63
26	42,52
18	44,68
11	46,91

Limite Liquido TOTAL	
N. Golpes	25
% Humedad	42,8



Nota: En la figura 32, se exponen los resultados del ensayo de limite líquido. Realizado por: los autores.

Resultado: En el primer ensayo la ranura se cierra a los 38 golpes, en el segundo ensayo la ranura se cierra a los 32 golpes, en el tercer ensayo la ranura se cierra a los 26 golpes, en el cuarto y quinto ensayo la ranura se cierra a los 18 y 11 golpes respectivamente.

Obteniendo un porcentaje de humedad de 42.8% a los 25 golpes.

Limite Plástico en la subrasante o suelo natural (LP):

Para el límite plástico se requiere una pequeña porción del material del ensayo de limite líquido, se requiere amasar esta porción de suelo sobre una hoja de papel con la palma de la mano

hasta que estos formen tubos de 3mm de grosor aproximadamente. Se requieren realizar dos o tres ensayos de dichas muestras (Bowles, 1990). Revisar *Anexo 6*.

A continuación, en la tabla 8 se exponen los resultados del ensayo del límite plástico aplicados en el suelo natural o subrasante.

Tabla 8.

Resultado de los ensayos de limite plástico

LIMITE PLÁSTICO					
Recipiente N°	P5	P9	P10	M	S7
Recipiente + M. Húmeda	12,73	11,76	11,66	13,56	14,08
Recipiente + M. Seca	12,26	11,35	11,42	12,9	13,43
Peso Recipiente	10,21	9,87	10,37	10,34	11,05
% Humedad	22,93	27,70	22,86	25,78	27,31

LIMITE PLASTICO	25,32
------------------------	-------

INDICE DE PLASTICIDAD	17,48
------------------------------	-------

Nota: En la tabla 8, se expone el resultado de los ensayos para obtener el límite plástico del material. Realizado por: los autores.

Resultado: En el caso de la subrasante se determina que el material cuenta con un límite plástico de 25.32 y con un índice de plasticidad de 17.48, con estas aproximaciones se puede establecer que es un material con una alta plasticidad.

En la figura 33, se expone el procedimiento de la obtención de los límites de consistencia y en la figura 34 se obtiene el grafico del estado de trabajo del suelo.

Figura 33.

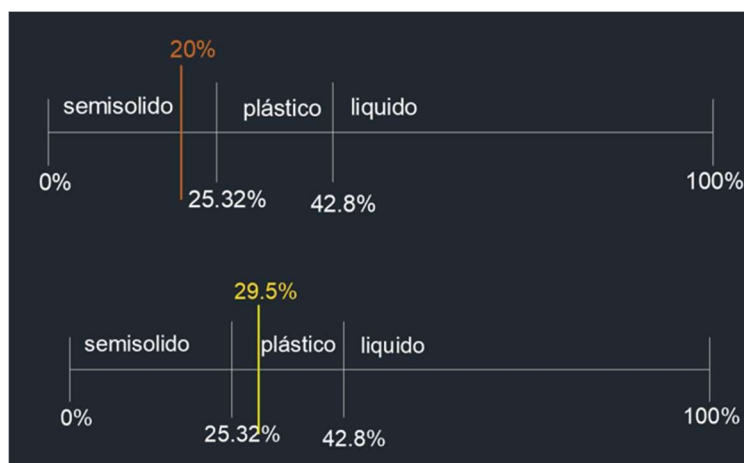
Ensayo de Límites de consistencia de la Subrasante.



Nota: En la figura 33, se exponen el proceso para realizar el ensayo de límites de consistencia de la subrasante. Realizado por: los autores.

Figura 34.

Estado de trabajo del suelo de la Subrasante con Proctor Estándar y con Prensa Hidráulica, respectivamente.



Nota: En la figura 34, se exponen el resultado del estado de trabajo del suelo (subrasante) con Proctor estándar y prensa hidráulica. Realizado por: los autores.

Resultados: Una vez obtenido los límites líquido y plástico de 42.8% y 25.32%

respectivamente se procede a ver en qué estado del suelo se está trabajando con el porcentaje de humedad utilizado para cada método, por una parte, con el método de Proctor Estándar se obtiene una humedad óptima del 20%, por lo que se está trabajando en un estado semisólido del suelo; y por el método de Prensa Hidráulica se obtiene una humedad óptima del 29.5%, por lo que el suelo está trabajando en un estado plástico.

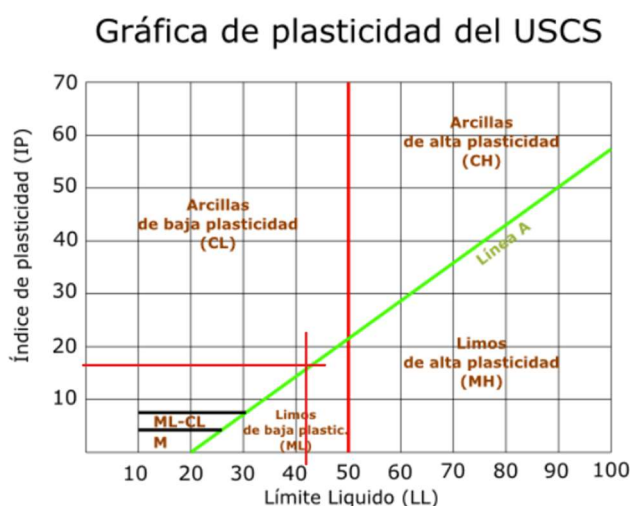
3.1.2.3 Clasificación según SUCS.

Para realizar la clasificación SUCS, se recomienda revisar la Tabla 1, en el Capítulo II.

En la figura 35 se puede observar la carta de plasticidad de clasificación SUCS, en la cual se encuentra graficado el rango en el que se encuentra el suelo.

Figura 35.

Carta de plasticidad de clasificación SUCS



Nota: En la figura 35, se exponen la clasificación SUCS en su carta de plasticidad. Obtenido de: Astm_d-2487-06. (s. f.).

Resultado: Según la carta de plasticidad y la granulometría del material, junto con sus límites de consistencia, el material se puede considerar como una arcilla de baja plasticidad.

3.1.2.4 Clasificación según AASHTO.

Para realizar la clasificación AASHTO, se recomienda revisar la Tabla 2, en el Capítulo II.

Resultado: Según la carta de plasticidad y la granulometría del material, junto con sus límites de consistencia, el material se puede considerar como un suelo A-7-5 (arcilla), debido a que está compuesto predominantemente por arcilla, el Índice de Plasticidad es 17.48 y el porcentaje máximo, 87.60% que pasa por el tamiz N° 200.

3.1.2.5 Ensayo de abrasión.

En el caso de la arcilla no se requiere realizar el ensayo de abrasión ya que, las mismas características del suelo no permiten su aplicación. Por eso, el ensayo de abrasión en el suelo natural no fue ejecutado.

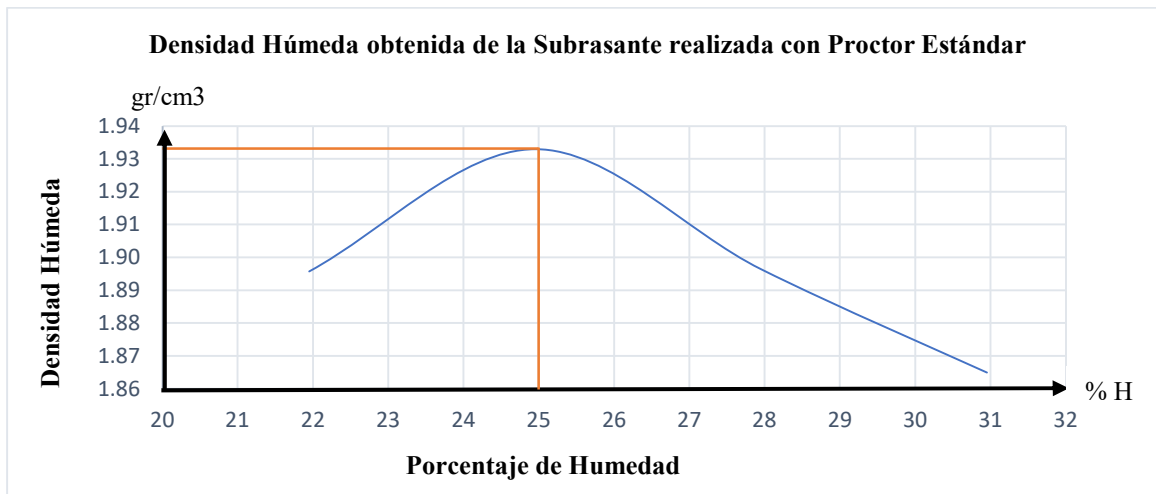
3.1.2.6 Ensayo de compactación utilizando energía estándar (Proctor estándar).

El ensayo de compactación por Proctor estándar sigue la normativa: ASTM D698 y AASHTO T99, AS 1289-E1.1. El ensayo fue aplicado en muestras de suelo sin mejorar, compactando en 3 capas de espesores iguales, cada capa recibe un total de 25 golpes con el peso de un martillo estándar, estas muestras ayudan a obtener la densidad máxima, arrojando datos como la humedad óptima del material a compactar. Revisar *Anexo 7*.

A continuación, en la figura 36 se observa la densidad máxima húmeda y en la figura 37 se observa la densidad máxima seca de la subrasante.

Figura 36.

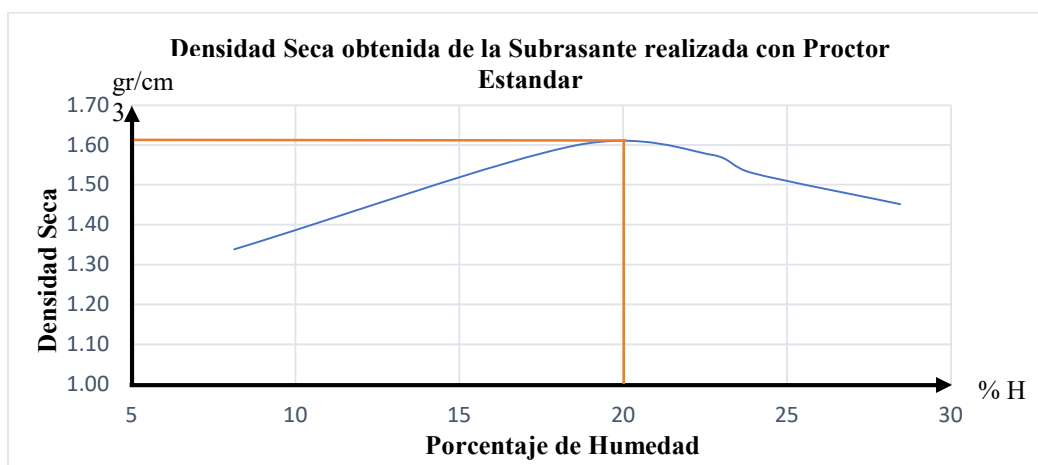
Densidad húmeda obtenida de la subrasante realizada con Proctor Estándar



Nota: En la figura 36, se expone la curva, resultado de la densidad húmeda obtenida de la subrasante realizada con Proctor estándar. Realizado por: los autores.

Figura 37.

Densidad seca obtenida de la subrasante realizada con Proctor Estándar.



Nota: En la figura 37, se expone la curva, resultado de la densidad seca obtenida de la subrasante realizada con Proctor estándar. Realizado por: los autores.

Resultado: Se puede observar que según la Norma ASTM D698 y AASHTO T99, AS 1289-E1. A partir de este ensayo se determinó la cantidad de agua, la humedad óptima. La densidad húmeda de la muestra da como resultado que con una humedad de 25% se obtiene una densidad máxima de 1.93 g/cm^3 .

La densidad seca de la muestra da como resultado que con una humedad de 20% se obtiene una densidad máxima de 1.61 g/cm^3 .

3.1.2.7 Ensayo de compactación utilizando la prensa hidráulica.

A continuación, en la figura 38, se presenta la aplicación del ensayo de compactación bajo esfuerzos de prensa.

Figura 38.

Aplicación de compactación en la muestra de Subrasante bajo esfuerzos de prensa.



Nota: En la figura 38, se expone la aplicación de compactación en la muestra de subrasante bajo esfuerzos de prensa. Realizado por: los autores.

Según Braja, en su fórmula para obtener la energía, se toma en cuenta cuantas capas y cuantos golpes se aplican y esto da una sola energía, mediante el resultado se decidió rellenar el molde dejando el menor porcentaje de vacíos y aplicando la carga total con la prensa.

Para la aplicación de la compactación bajo esfuerzos de prensa, dado que es un método experimental propuesto por los tesisistas, se ha utilizado la ecuación de la energía de compactación brindada por Braja M. Das, en la cual se expone:

$$E = \frac{(N^{\circ} \text{ golpes} * \text{capa}) * (N^{\circ} \text{ de capas}) * (\text{Peso del martillo}) * (\text{Altura caída martillo})}{\text{Volumen del molde}}$$

Con un resultado de:

$$E = 630.204 \text{ kN/m}^2$$

Una vez obtenido el esfuerzo de compactación, aplicando las mismas condiciones de Proctor estándar y un molde único obtenido en el laboratorio, se aplica una carga dada por la ecuación:

$$E = \frac{F}{A}$$

En la cual se obtiene:

$$F = E * A$$

Siendo:

E= esfuerzo de compactación

F= Fuerza de compactación

A= Área de compactación

Obteniendo una fuerza de compactación de:

$$F= 514.865 \text{ kgf}$$

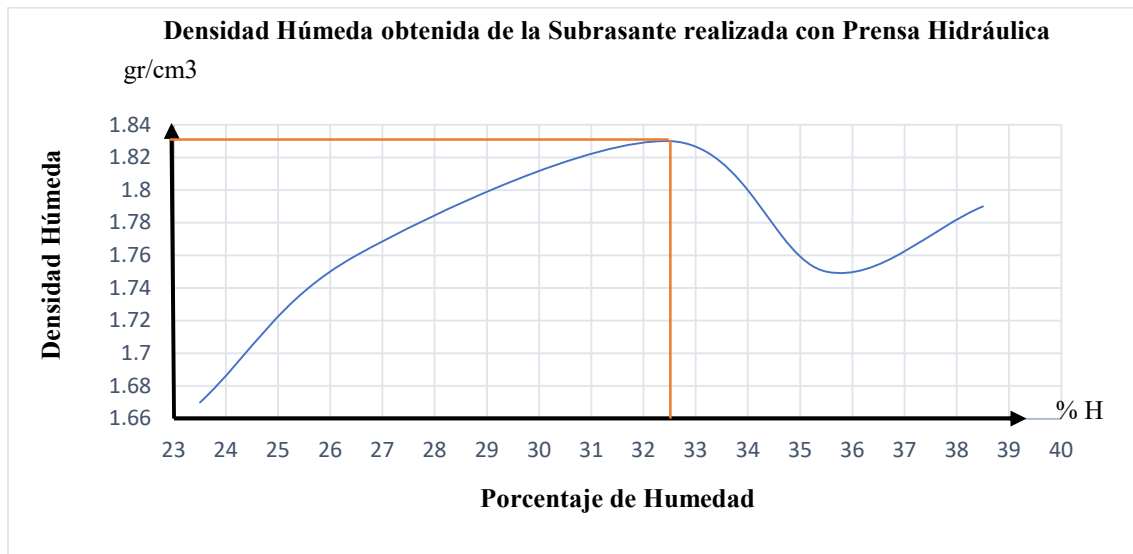
Esta fuerza es aplicada desde la prensa con una velocidad de aplicación constante a las probetas que son compactadas, obteniendo de esta manera sus densidades máximas.

Cabe recalcar que la prueba ha sido ejecutada en las mismas condiciones de aplicación con la que se realiza la compactación estándar. Revisar *Anexo 8*.

A continuación, en la figura 39 se observa la densidad máxima húmeda y en la figura 41 se observa la densidad máxima seca de la subrasante, aplicando la compactación bajo esfuerzos de prensa.

Figura 39.

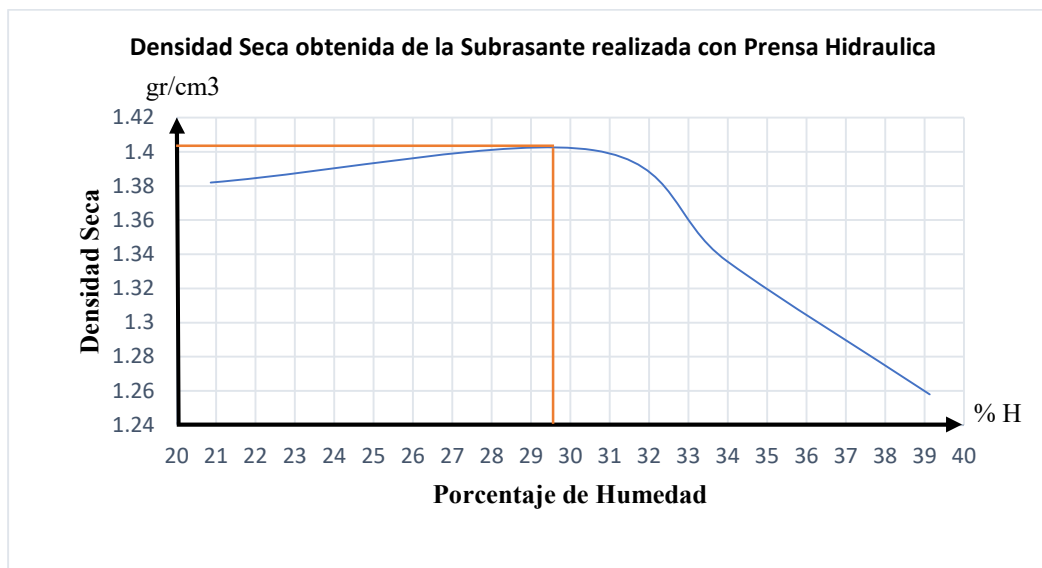
Densidad húmeda obtenida de la subrasante realizada con Prensa Hidráulica.



Nota: En la figura 39, se exponen los resultados de la compactación de la Subrasante bajo esfuerzos de prensa- densidad máxima húmeda. Realizado por: los autores.

Figura 40.

Densidad seca obtenida de la subrasante realizada con Prensa Hidráulica.



Nota: En la figura 40, se exponen los resultados de la compactación de la Subrasante bajo esfuerzos de prensa- densidad máxima seca. Realizado por: los autores.

Resultado: A partir de este ensayo se determinó la cantidad de agua, la humedad óptima. La densidad húmeda de la muestra da como resultado que con una humedad de 32.5% se obtiene una densidad máxima de 1.83 g/cm³.

La densidad seca de la muestra da como resultado que con una humedad de 29.5% se obtiene una densidad máxima de 1.41 g/cm³.

3.1.2.8 Diseño de la mezcla suelo-cemento.

Según la tabla 4, para el tipo de suelo que se obtuvo en la clasificación según SUCS y AASHTO, como un suelo A-7-5 (según AASHTO). A la mezcla se le aplicó el máximo porcentaje de cemento permitido por la norma, que es el 16% del total de peso de los finos.

Es decir, se reemplazó el 16% de peso de los finos por la cantidad de cemento especificada por la norma.

En el ensayo se tomaron 24 muestras de 2500 gr de la cual se obtuvo un porcentaje de 100% de material fino, posteriormente dicho material se compacto mediante la prensa hidráulica y Proctor estándar.

En la figura 41, se puede observar la mezcla de suelo-cemento y agua.

Figura 41.

Elaboración de la mezcla suelo-cemento.



Nota: En la figura 41, se expone el proceso de mezcla entre suelo-cemento. Realizado por: los autores.

Resultado: Se dividieron en dos grupos de muestras, 12 para compactación mediante prensa hidráulica, tomando en cuenta que se ensayan los cilindros a los 7,14 y 28 días de curado, a su vez estos se dividen en dos subgrupos para aplicación de métodos de curado y 12 para compactación mediante Proctor estándar, también tomando en cuenta que se ensayaran a los 7,14

y 28 días de curado, empleando la misma división en dos subgrupos para aplicar dos distintos métodos de curado.

3.1.2.9 Aplicación de métodos de curado.

Tras haber realizado la mezcla suelo-cemento y elaboración de los cilindros en los moldes de Proctor estándar, las muestras pasan por un proceso de curado, el cual consiste en mantener húmedas a las muestras mediante dos métodos propuestos por los tesistas.

El primer método se conoce como curado por capilaridad y el segundo método es el curado por simulación de cámara húmeda. Ambos métodos han sido aplicados en el mejoramiento de suelo natural-cemento, aplicando los dos métodos de compactación, tanto la compactación por Proctor estándar y la compactación por prensa hidráulica.

En la figura 42 y 43, se puede observar la aplicación de curado por capilaridad y cámara húmeda, respectivamente.

Figura 42.

Curado por capilaridad de las muestras de Suelo-Cemento.



Nota: En la figura 42, se expone el proceso de curado por capilaridad de las muestras suelo-cemento. Realizado por: los autores.

Figura 43.

Curado por simulación de cámara húmeda de las muestras Suelo-Cemento.



Nota: En la figura 43, se expone una parte del proceso de curado por cámara húmeda.

Realizado por: los autores.

En el proceso se realizan 12 cilindros para curado por capilaridad mediante los dos métodos de compactación previamente mencionados, es decir, seis cilindros para cada método de compactación, a los cuales se les aplicara el método de curado por capilaridad durante un periodo de 7-14 y 28 días, obteniendo dos cilindros por cada periodo de tiempo.

Para el curado por cámara húmeda, también se realizan 12 cilindros, que se dividirán en dos grupos a los cuales se les aplicaran los dos métodos de compactación anteriormente mencionados, es decir, para cada compactación por este proceso de curado se realizan seis cilindros que se ensayaran a los 7-14 y 28 días, dos cilindros en cada ensayo.

En las figuras 44 y 45, se puede observar la aplicación de la compactación por Proctor estándar y compactación por esfuerzos de presa, respectivamente.

Figura 44.

Compactación de Suelo-Cemento por Proctor estándar.



Nota: En la figura 44, se expone el proceso de compactación del suelo-cemento por Proctor estándar. Realizado por: los autores.

Figura 45.

Compactación del Suelo-Cemento por esfuerzos de prensa.



Nota: En la figura 45, se expone el proceso de compactación del suelo-cemento bajo esfuerzos de prensa. Realizado por: los autores.

Se obtiene un total de 24 muestras para la mezcla Base Granular-cemento.

Una vez hayan transcurrido los 7-14 y 28 días de curado mediante los dos procesos, las muestras se sacan de las cámaras de curado y se dejan en el horno durante 12 horas a una temperatura constante de 100° C. Una vez que ha transcurrido el tiempo de secado se sacan las muestras del horno, se enfrían y se mide el diámetro, altura y peso, de cada cilindro, al obtener estos datos los cilindros se someten a la prueba de compresión en la prensa hidráulica, para obtener su resistencia.

En la figura 46, se puede observar el proceso de secado de las muestras de mezcla de suelo-cemento.

Figura 46.

Secado en el horno de las muestras de Suelo-Cemento previo a los ensayos de compresión simple.



Nota: En la figura 46, se expone el proceso de secado del suelo-cemento. Realizado por: los autores.

Capítulo IV: Resultados

4.1 Obtención de resultados.

4.1.1 Evaluación de resultados obtenidos.

4.1.1.1 Resultados de la Base Granular mejorada con cemento.

La normativa ACI 230.1 R-09 que es un informe sobre suelo cemento del año 2009, en el capítulo 5, apartado 5.3, habla sobre la resistencia a la compresión de las muestras de suelo-cemento-agua. En este apartado el ACI indica que la resistencia a compresión de las muestras de suelo mejoradas con cemento debe ser evaluada a los 7 y 28 días, indica también que el tiempo de curado de la muestra influye de manera significativa en la resistencia de los especímenes dependiendo del tipo de suelo que se vaya a analizar, es decir, que para suelos de características granulares el aumento de la resistencia será mayor que para los suelos arcillosos o de grano fino (*Report on Soil Cement (ACI 230.1R-09)*, 2009b).

A continuación, en la figura 47, se exponen los rangos de resistencia mínima y máxima a la compresión en diferentes tipos de suelo a los 7 y 28 días respectivamente. Cabe recalcar que estos valores se toman en cuenta para especímenes curados en húmedo únicamente.

Figura 47.

Rangos de resistencias a la compresión no confinada del suelo cemento.

Tabla 5.1—Rangos de resistencias a la compresión no confinada del cemento del suelo

Tipo de suelo	Resistencia a la compresión	
	empapada,*	psi 7 días 28 días
Suelos arenosos y cascajosos: AASHTO Grupos A-1, A-2, A-3 Grupos unificados GW, GC, GP, GM, SW, SC, ESP, SM	300 a 600	400 a 1000
Suelos limosos: AASHTO Grupos A-4 y A-5 Grupos Unificados ML y CL	250 a 500	300 a 900
Suelos arcillosos: AASHTO Grupos A-6 y A-7 Grupos Unificados MH y CH	200 a 400	250 a 600

*Especímenes curados en húmedo durante 7 o 28 días, luego remojados en agua antes de la prueba de resistencia.
Nota: 1 psi = 0,0069 MPa.

Nota: En la figura 47, se exponen los rangos de resistencias a la compresión no confinada que debe tener un suelo cemento. Recuperado de: (Report on Soil Cement (ACI 230.1R-09), 2009b, p. 23)

La rotura se realiza con una prueba estándar de compresión de hormigones en la prensa hidráulica, con una velocidad de carga de 2.5 kg/cm². Se ha escogido esta prueba por la similitud que tiene el material a ensayar con el hormigón. Se analiza el material mejorado para saber su resistencia a los 7 y 28 días, porque la normativa no considera los ensayos a los 14 días.

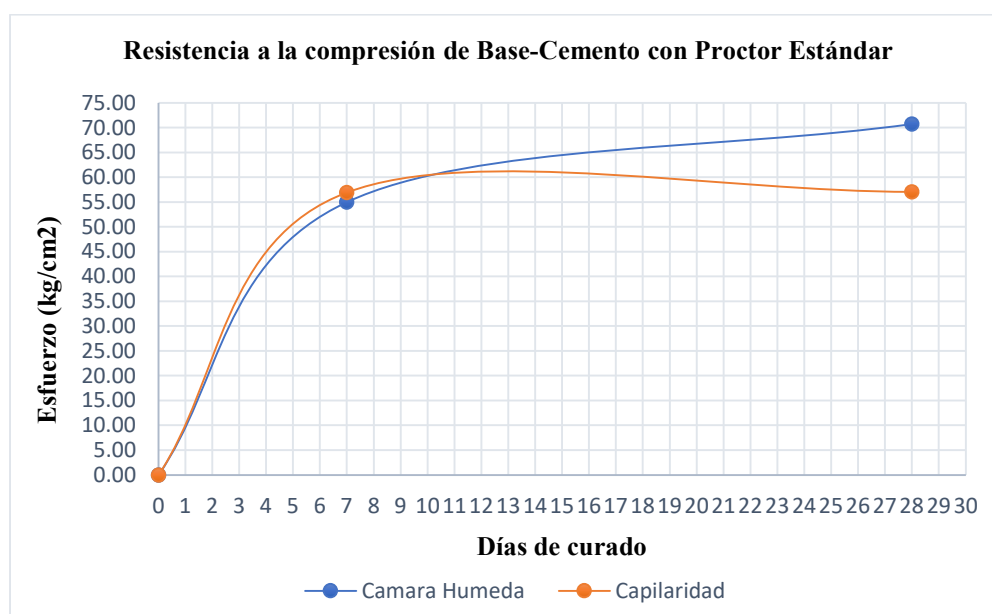
Para conocer los resultados de las pruebas a los 14 días de curado, se recomienda revisar el Anexo 9.

4.1.1.1 Resistencia de la Base Granular mejorada con cemento a los 7 días de curado.

Se realizan las pruebas en los cilindros a los 7 días de curado, tanto por capilaridad como por cámara húmeda con el método de compactación de Proctor estándar y se obtuvo la curva de la figura 48, en la cual se obtienen dos resistencias, tanto a los 7 días como a los 28 días.

Figura 48.

Resistencia a la compresión de Base Granular-cemento con Proctor Estándar.



Nota: En la figura 48, se expone la curva de esfuerzo soportado en la prueba de compresión frente a días transcurridos en el periodo de curado. Realizado por: los autores.

Según la figura 47, que se encuentra como tabla 5.1 en la ACI, se presenta el rango sugerido de resistencia que debe alcanzar el suelo-cemento mejorado.

En la tabla 9, se obtiene una resistencia mediante Proctor estándar, para la Base Granular mejorada con el 5% de cemento en el peso de sus finos:

Tabla 9.

Resistencia obtenida a los 7 días de Base Granular mejorada con cemento al 5% del peso de sus finos.

Resultados de la rotura de los cilindros					
Material: Base Granular					
Proctor Estándar					
7 días Cámara Húmeda			7 días Capilaridad		
ρ	2.04	g/cm ³	ρ	1.98	g/cm ³
P	4410	kg	P	4565	kg
σ	55.04	kg/cm ²	σ	56.98	kg/cm ²
7 Días (rangos recomendados)					
300	psi	2.07	Mpa	21.11	kg/cm ²
600	psi	4.14	Mpa	42.22	kg/cm ²

Nota: En la tabla 9, se exponen los resultados de la rotura de cilindros por Proctor estándar en el material de Base Granular, en la cual se puede observar el curado por cámara húmeda y por capilaridad. Realizado por: los autores.

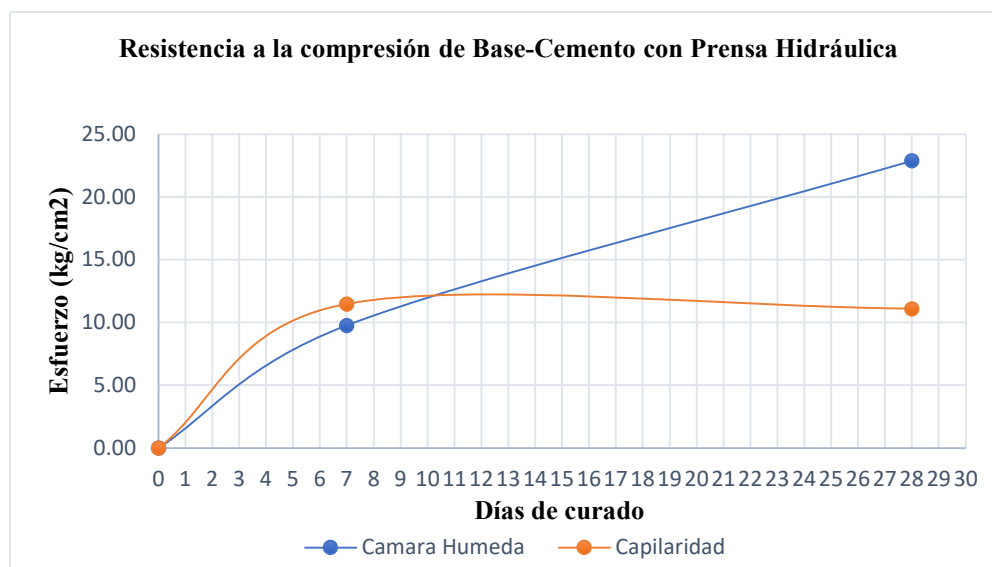
La resistencia alcanzada a los 7 días con curado por cámara húmeda es de 55.07 kg/cm² y la resistencia alcanzada en el curado por capilaridad es de 56.98 kg/cm². Esto quiere decir que la resistencia sobrepasa los valores de los rangos recomendados por la ACI.

A continuación, se obtiene una resistencia mediante prensa hidráulica en los 7 días establecidos:

Se realizan las pruebas en los cilindros a los 7 días de curado, tanto por capilaridad como por cámara húmeda con el método de compactación bajo esfuerzos de prensa y se obtuvo la curva de la figura 49, en la cual se grafican dos resistencias, tanto a los 7 días como a los 28 días.

Figura 49.

Resistencia a la compresión de Base Granular-cemento con Prensa Hidráulica.



Nota: En la figura 49, se expone la curva de esfuerzo soportado en la prueba de compresión frente a días transcurridos en las muestras de Base Granular-Cemento en el período de curado.

Realizado por: los autores.

Según la figura 50, que se expone como 6.3 de la ACI, se presenta el rango sugerido de resistencia que debe alcanzar el suelo-cemento mejorado, aplicando la compactación por prensa hidráulica.

Figura 50.

Rangos de resistencia a la compresión de suelo-cemento

Table 6.3—USACE minimum unconfined compressive strength criteria (USACE 1994a)

Stabilized soil layer	Minimum unconfined compressive strength at 7 days, psi	
	Flexible pavement	Rigid pavement
Base course	750	500
Subbase course, select material or subgrade	250	200

Nota: En la figura 50, se expone una tabla del ACI en el que indica la resistencia a la compresión mínima a la compresión del suelo-cemento no confinado. Recuperado de: (*Report on Soil Cement (ACI 230.1R-09)*, 2009b)

En la tabla 10, se puede observar la resistencia obtenida a los 7 días en la Base Granular mejorada con el 5% de los finos con curado por cámara húmeda.

Tabla 10.

Resultados de la rotura de los cilindros.

Resultados de la rotura de los cilindros					
Material: Base Granular					
Prensa Hidráulica					
7 días Cámara Húmeda			7 días Capilaridad		
ρ	1.69	g/cm ³	ρ	1.64	g/cm ³
P	782.5	kg	P	920	kg
σ	9.77	kg/cm ²	σ	11.48	kg/cm ²

7 Días						
flexible	750	psi	5.175	Mpa	52.77	kg/cm²
rígido	500	psi	3.45	Mpa	35.18	kg/cm²

Nota: En la tabla 10, se expone la resistencia a la compresión obtenida a los 7 días de Base Granular mejorada con cemento al 5% del peso de sus finos. Realizado por: los autores.

La resistencia alcanzada a los 7 días con curado por cámara húmeda es de 9.77 kg/cm² y la resistencia alcanzada en el curado por capilaridad es de 11.48 kg/cm². Esto quiere decir que la resistencia no alcanza los valores de los rangos recomendados por la ACI.

4.1.1.1.2 Resistencia de la Base Granular mejorada con cemento a los 28 días de curado.

A continuación, se obtiene una resistencia mediante Proctor estándar a los 28 días establecidos:

Se realizan las pruebas en los cilindros a los 28 días de curado, tanto por capilaridad como por cámara húmeda con el método de compactación por Proctor estándar y se obtuvo la curva de la figura 48, en la cual se obtienen dos resistencias, tanto a los 7 días como a los 14 días. Según la tabla 5.1 de la ACI, se presenta el rango sugerido de resistencia que debe alcanzar el suelo-cemento mejorado.

En la tabla 11, se puede observar la resistencia obtenida a los 28 días en la Base Granular mejorada con el 5% de los finos con curado por cámara húmeda y capilaridad.

Tabla 11.

Resultados de la rotura de los cilindros.

Resultados de la rotura de los cilindros					
Material: Base Granular					
Proctor Estándar					
28 días Cámara Húmeda			28 días Capilaridad		
ρ	2.04	g/cm ³	P	2.04	g/cm ³
P	5670	kg	P	4575	kg
σ	70.77	kg/cm ²	Σ	57.10	kg/cm ²
28 Días					
400	psi	2.76	Mpa	28.14	kg/cm ²
1000	psi	6.9	Mpa	70.36	kg/cm ²

Nota: En la tabla 11, se expone la resistencia a la compresión obtenida a los 28 días de Base Granular mejorada con cemento al 5% del peso de sus finos. Realizado por: los autores.

La resistencia alcanzada a los 28 días con curado por cámara húmeda es de 70.77 kg/cm² y la resistencia alcanzada en el curado por capilaridad es de 57.10 kg/cm². Esto quiere decir que la resistencia a la compresión obtenida se encuentra dentro de los valores de los rangos recomendados por la ACI.

Se obtiene una resistencia mediante Prensa hidráulica a los 28 días establecidos:

Se realizan las pruebas en los cilindros a los 28 días de curado, tanto por capilaridad como por cámara húmeda con el método de compactación bajo esfuerzos de prensa y se obtuvo la curva de la figura 49, en la cual se obtienen dos resistencias, tanto a los 7 días como a los 14 días. Según la tabla 6.3 de la ACI, se presenta el rango sugerido de resistencia que debe alcanzar el suelo-cemento mejorado.

En la tabla 12, se puede observar la resistencia obtenida a los 28 días en la Base Granular mejorada con el 5% de los finos con curado por cámara húmeda y capilaridad.

Tabla 12.

Resultados de la rotura de los cilindros.

Resultados de la rotura de los cilindros					
Material: Base Granular					
Prensa Hidráulica					
28 días Cámara Húmeda			28 días Capilaridad		
ρ	1.74	g/cm ³	ρ	1.64	g/cm ³
P	1855	kg	P	890	kg
σ	22.89	kg/cm ²	σ	11.10	kg/cm ²

Nota: En la tabla 12, se expone la resistencia a la compresión obtenida a los 28 días de Base Granular mejorada con cemento al 5% del peso de sus finos. Realizado por: los autores.

La resistencia alcanzada a los 28 días con curado por cámara húmeda es de 22.89 kg/cm² y la resistencia alcanzada en el curado por capilaridad es de 11.10 kg/cm². Para estos valores no se obtiene un rango definido dentro de la normativa ACI.

4.1.1.2 Resultados del suelo natural mejorado con cemento.

4.1.1.2.1 Resultados del suelo natural mejorado con cemento a los 7 días.

La rotura se realiza con una prueba estándar de compresión de hormigones en la prensa hidráulica, con una velocidad de carga de 2.5 kg/cm². Se ha escogido esta prueba por la similitud que tiene el material a ensayar con el hormigón. Se analiza el material mejorado para saber su resistencia a los 7 y 28 días, porque la normativa no considera los ensayos a los 14 días.

Para conocer los resultados de las pruebas a los 14 días de curado, se recomienda revisar el Anexo 10.

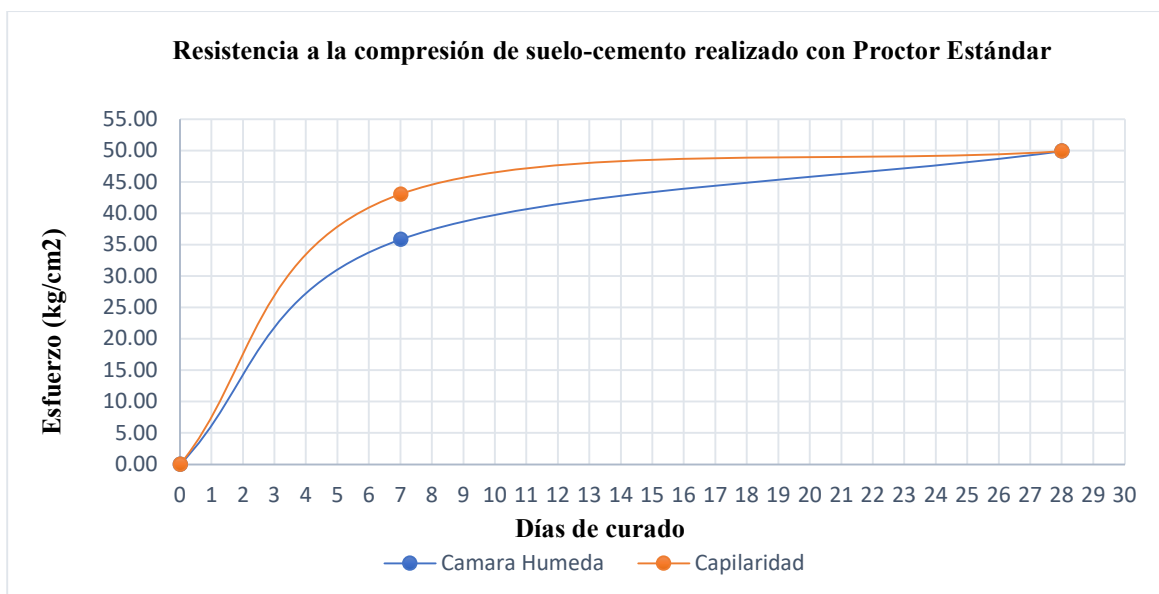
Resistencia de la mezcla suelo-cemento con 7 días de curado.

Se realizan las pruebas en los cilindros a los 7 días de curado, tanto por capilaridad como por cámara húmeda con el método de compactación de Proctor estándar y se obtuvo la curva:

Como se puede observar en la figura 51, se grafican dos resistencias, tanto a los 7 días como a los 28 días.

Figura 51.

Resistencia a la compresión de suelo-cemento realizado con Proctor Estándar.



Nota: En la figura 51, se expone la curva de esfuerzo soportado por las muestras Suelo-Cemento en la prueba de compresión frente a días transcurridos en el periodo de curado. Realizado por: los autores.

Según la tabla 5.1 de la ACI, se presenta el rango sugerido de resistencia que debe alcanzar el suelo-cemento mejorado. En este caso se obtiene una resistencia mediante Proctor estándar:

Tabla 13.

Resultados de la rotura de cilindros.

Resultados de la rotura de los cilindros					
Material: Subrasante, El Cabo, Paute					
Proctor Estándar					
7 días Cámara Húmeda			7 días Capilaridad		
ρ	1.77	g/cm ³	ρ	1.74	g/cm ³
P	2872	kg	P	3449	kg
σ	35.85	kg/cm ²	σ	43.05	kg/cm ²

7 Días (rangos recomendados)					
300	psi	2.07	Mpa	21.11	kg/cm ²
600	psi	4.14	Mpa	42.22	kg/cm ²

Nota: En la tabla 13, se expone la resistencia a la compresión obtenida a los 7 días de suelo natural mejorado con cemento el 16% del peso de sus finos. Realizado por: los autores.

La resistencia alcanzada a los 7 días con curado por cámara húmeda es de 35.85 kg/cm² y la resistencia alcanzada en el curado por capilaridad es de 43.05 kg/cm². Esto quiere decir que la resistencia sobrepasa el rango recomendado por la ACI.

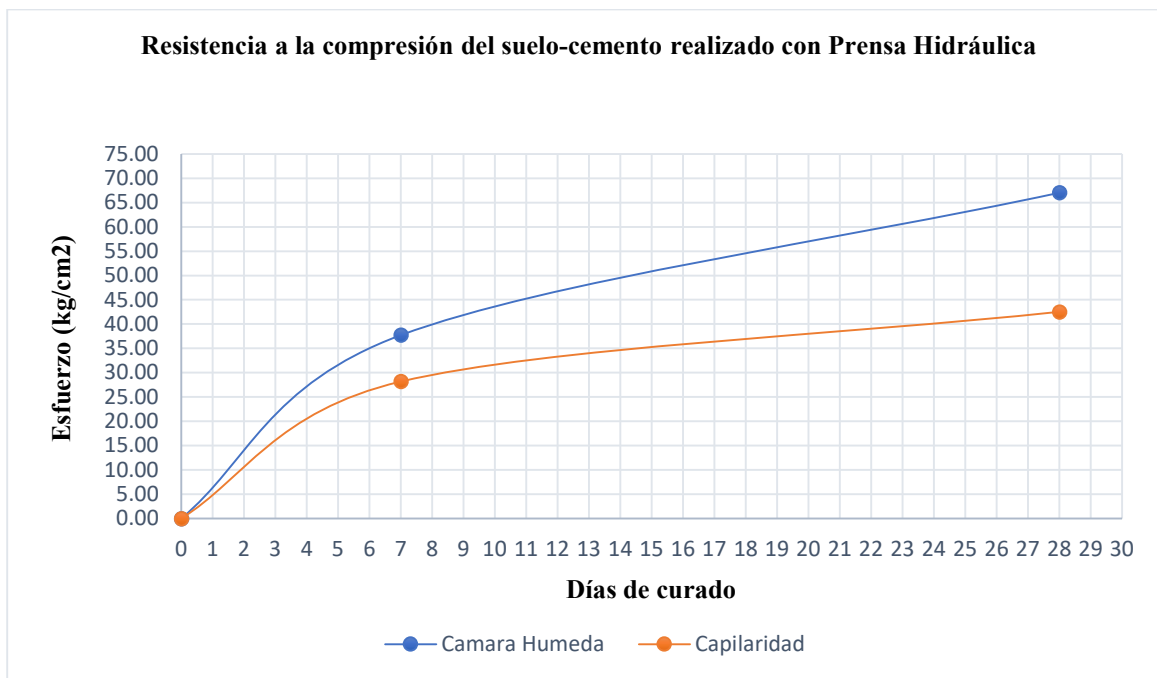
A continuación, se obtiene una resistencia mediante prensa hidráulica en los 7 días establecidos:

Se realizan las pruebas en los cilindros a los 7 días de curado, tanto por capilaridad como por cámara húmeda con el método de compactación bajo esfuerzos de prensa y se obtuvo la curva

que se puede observar en la figura 52, en la cual se grafican dos resistencias, tanto a los 7 días como a los 28 días.

Figura 52.

Resistencia a la compresión del suelo-cemento realizado con Prensa Hidráulica.



Nota: En la figura 52, se expone la resistencia a la compresión mediante la curva de esfuerzo soportado en la prueba de compresión frente a días transcurridos en el periodo de curado.

Realizado por: los autores.

Según la tabla 6.3 de la ACI, se presenta el rango sugerido de resistencia que debe alcanzar el suelo-cemento mejorado, aplicando la compactación por prensa hidráulica.

En la tabla 14, se puede observar los resultados de la resistencia a compresión obtenida de la subrasante mejorada con cemento a los 7 días.

Tabla 14.

Resultados de la rotura de los cilindros.

Resultados de la rotura de los cilindros					
Material: Subrasante, El Cabo, Paute					
Prensa Hidráulica					
7 días Cámara Húmeda			7 días Capilaridad		
ρ	1.67	g/cm ³	ρ	1.58	g/cm ³
P	3025	Kg	P	2260	kg
σ	37.76	kg/cm ²	σ	28.21	kg/cm ²

28 Días					
250	psi	1.725	Mpa	17.59	kg/cm ²
600	psi	4.14	Mpa	42.22	kg/cm ²

Nota: En la tabla 14, se exponen los resultados de la rotura de los cilindros de subrasante, resistencia a compresión obtenida a los 7 días de suelo natural mejorado con cemento el 16% del peso de sus finos Realizado por: los autores.

La resistencia alcanzada a los 7 días con curado por cámara húmeda es de 37.76 kg/cm² y la resistencia alcanzada en el curado por capilaridad es de 28.21 kg/cm². Esto quiere decir que la resistencia se encuentra dentro del rango de valores recomendados por la ACI.

4.1.1.2.2 Resistencia de la mezcla suelo-cemento con 28 días de curado.

A continuación, se obtiene una resistencia mediante Proctor estándar a los 28 días establecidos:

Se realizan las pruebas en los cilindros a los 28 días de curado, tanto por capilaridad como por cámara húmeda con el método de compactación por Proctor estándar y se obtuvo la curva de la figura 51, en la cual se consiguen dos resistencias, tanto a los 7 días como a los 28 días. Según la

tabla 5.1 de la ACI, se presenta el rango sugerido de resistencia que debe alcanzar el suelo-cemento mejorado.

Tabla 15.

Resultados de la rotura de los cilindros.

Resultados de la rotura de los cilindros					
Material: Subrasante, El Cabo, Paute					
Proctor Estándar					
28 días Cámara Húmeda			28 días Capilaridad		
ρ	1.71	g/cm ³	ρ	1.66	g/cm ³
P	4000	kg	P	4000	kg
σ	49.93	kg/cm ²	σ	49.93	kg/cm ²
28 Días					
250	psi	1.725	Mpa	17.59	kg/cm ²
600	psi	4.14	Mpa	42.22	kg/cm ²

Nota: En la tabla 15, se exponen los resultados de la rotura de los cilindros de subrasante, resistencia a compresión obtenida a los 28 días de suelo natural mejorado con cemento el 16% del peso de sus finos Realizado por: los autores.

La resistencia alcanzada a los 28 días con curado por cámara húmeda es de 49.93 kg/cm² y la resistencia alcanzada en el curado por capilaridad es de 49.93 kg/cm². Esto quiere decir que la resistencia se encuentra superior a los valores de los rangos recomendados por la ACI.

Se obtiene una resistencia mediante Prensa hidráulica a los 28 días establecidos:

Se realizan las pruebas en los cilindros a los 28 días de curado, tanto por capilaridad como por cámara húmeda con el método de compactación bajo esfuerzos de prensa y se obtuvo la curva de la figura 52, en la cual se establecen dos resistencias, tanto a los 7 días como a los 14 días. Según

la tabla 6.3 de la ACI, se presenta el rango sugerido de resistencia que debe alcanzar el suelo-cemento mejorado.

A continuación, en la tabla 16 se exponen los resultados de la resistencia obtenida a los 28 días del suelo mejorado con cemento.

Tabla 16.

Resistencia obtenida a los 28 días de suelo natural mejorado con cemento al 16% del peso de sus finos.

Resultados de la rotura de los cilindros					
Material: Subrasante, El Cabo, Paute					
Prensa Hidráulica					
28 días Cámara Húmeda			28 días capilaridad		
ρ	1.66	g/cm ³	ρ	1.58	g/cm ³
P	5375	Kg	P	3410	kg
σ	67.09	kg/cm ²	σ	42.56	kg/cm ²

Nota: En la tabla 16, se exponen los resultados de la rotura de los cilindros de subrasante, resistencia a compresión obtenida a los 28 días de suelo natural mejorado con cemento el 16% del peso de sus finos Realizado por: los autores.

La resistencia alcanzada a los 28 días con curado por cámara húmeda es de 67.09 kg/cm² y la resistencia alcanzada en el curado por capilaridad es de 42.56 kg/cm². Esto quiere decir que estos valores sobrepasan el rango recomendado por la ACI.

4.1.2 Cuadros comparativos de resultados.

A continuación, se presenta un cuadro comparativo de los métodos de compactación y métodos de curado aplicados en los materiales.

4.1.2.1 Comparación de Base Granular mejorada con cemento.

Tras haber realizado la compactación estándar y compactación bajo esfuerzos de prensa en los materiales Base Granular-cemento y suelo natural-cemento, se establece la comparación de la resistencia a los 7 y 28 días.

Tabla 17.

Cuadro de comparación de resultados por el método de Proctor estándar.

Comparación de resultados método Proctor Estándar					
Cámara Húmeda			Capilaridad		
Días	Esfuerzo	Unidad	Días	Esfuerzo	Unidad
0	0.00	kg/cm ²	0	0	kg/cm ²
7	55.04	kg/cm ²	7	56.98	kg/cm ²
28	70.77	kg/cm ²	28	57.10	kg/cm ²

Nota: En la tabla 17, se exponen la comparación de los resultados de las resistencias a compresión obtenidas con compactación por Proctor estándar y dos métodos de curado distintos en Base Granular mejorada con cemento. Realizado por: los autores.

Como se puede observar, los resultados de las resistencias obtenidas en el material de Base Granular compactado por Proctor estándar brindan una resistencia con el curado de cámara húmeda a los 7 días de 55.04 kg/cm² y a los 28 días de 70.77 kg/cm².

A su vez se observan los resultados del mismo método de compactación con curado por capilaridad a los 7 días de 56.98 kg/cm² y a los 28 días de 57.10 kg/cm².

Al contar con un mismo material para ser comparado por dos métodos, esto indica que el método de curado que ofrece más resistencia junto con la compactación por Proctor estándar es el método de curado por cámara húmeda.

En este caso la resistencia obtenida se debe a que el material alcanza mayor densidad, debido al método de compactación. En este caso la densidad que se obtuvo de los cilindros curados en cámara húmeda es de 2.07 g/cm^3 y la densidad de los cilindros curados por capilaridad es de 2.01 g/cm^3 .

Tabla 18.

Comparación de resultados por el método de prensa hidráulica.

Comparación de resultados método Prensa Hidráulica					
Cámara Húmeda			Capilaridad		
Días	Esfuerzo	Unidad	Días	Esfuerzo	Unidad
0	0.00	kg/cm ²	0	0	kg/cm ²
7	9.77	kg/cm ²	7	11.48	kg/cm ²
28	22.89	kg/cm ²	28	11.10	kg/cm ²

Nota: En la tabla 18, se exponen la comparación de los resultados de las resistencias a compresión obtenidas con compactación por Proctor estándar y dos métodos de curado distintos en Base Granular mejorada con cemento. Realizado por: los autores.

Como se puede observar, los resultados de las resistencias obtenidas en el material de Base Granular compactado bajo esfuerzos de prensa brindan una resistencia con el curado de cámara húmeda a los 7 días de 9.77 kg/cm^2 y a los 28 días de 22.89 kg/cm^2 .

A su vez se observan los resultados del mismo método de compactación con curado por capilaridad a los 7 días de 11.48 kg/cm^2 y a los 28 días de 11.10 kg/cm^2 .

Al contar con un mismo material para ser comparado por dos métodos, esto indica que el método de curado que ofrece más resistencia junto con la compactación bajo esfuerzos de prensa, es el método de curado por capilaridad.

En este caso la resistencia obtenida se debe a que el material no alcanza la densidad deseada, debido al método de compactación aplicado, ya que se tiene un material granular suelto. La densidad que se obtuvo de los cilindros curados en cámara húmeda es de 1.71 g/cm^3 y la densidad de los cilindros curados por capilaridad es de 1.66 g/cm^3 .

4.1.2.2 Comparación de suelo natural mejorado con cemento.

A continuación, en la tabla 19 se exponen los resultados de la comparación de los métodos de curado en las muestras que fueron compactadas por Proctor estándar.

Tabla 19.

Comparación de resultados por el método de Proctor Estándar.

Comparación de resultados método Proctor Estándar					
Cámara Húmeda			Capilaridad		
Días	Esfuerzo	Unidad	Días	Esfuerzo	Unidad
0	0.00	kg/cm²	0	0	kg/cm²
7	35.85	kg/cm²	7	43.05	kg/cm²
28	49.93	kg/cm²	28	49.93	kg/cm²

Nota: En la tabla 19, se exponen la comparación de los resultados de las resistencias a compresión obtenidas con compactación por Proctor estándar y dos métodos de curado distintos en Base Granular mejorada con cemento. Realizado por: los autores.

En la tabla 19, los resultados de las resistencias obtenidas en el material de suelo natural-cemento compactado bajo esfuerzos de prensa brindan una resistencia con el curado de cámara húmeda a los 7 días de 35.85 kg/cm^2 y a los 28 días de 49.93 kg/cm^2 .

A su vez se observan los resultados del mismo método de compactación con curado por capilaridad a los 7 días de 43.05 kg/cm^2 y a los 28 días de 49.93 kg/cm^2 .

Al contar con un mismo material para ser comparado por dos métodos, esto indica que el método de curado que ofrece más resistencia junto con la compactación por Proctor estándares el método de curado por capilaridad.

En este caso la resistencia obtenida se debe a que el material alcanza una baja densidad, debido al método de compactación aplicado, ya que se tiene una arcilla de baja plasticidad, haciendo que sea un material que adquiere una alta relación de vacíos. La densidad que se obtuvo de los cilindros curados en cámara húmeda es de 1.75 g/cm^3 y la densidad de los cilindros curados por capilaridad es de 1.72 g/cm^3 .

A continuación, en la tabla 20 se exponen los resultados de la comparación de los métodos de curado en las muestras que fueron compactadas bajo esfuerzos de prensa.

Tabla 20.

Comparación de resultados por el método de Prensa Hidráulica.

Comparación de resultados método Prensa Hidráulica					
Cámara Húmeda			Capilaridad		
Días	Esfuerzo	Unidad	Días	Esfuerzo	Unidad
0	0.00	kg/cm ²	0	0	kg/cm ²
7	37.76	kg/cm ²	7	28.21	kg/cm ²
28	67.09	kg/cm ²	28	42.56	kg/cm ²

Nota: En la tabla 20, se exponen la comparación de los resultados de las resistencias a compresión obtenidas con compactación bajo esfuerzos de prensa y dos métodos de curado distintos en Base Granular mejorada con cemento. Realizado por: los autores.

En la tabla 20, los resultados de las resistencias obtenidas en el material de suelo natural-cemento compactado bajo esfuerzos de prensa brindan una resistencia con el curado de cámara húmeda a los 7 días de 37.76 kg/cm^2 y a los 28 días de 67.09 kg/cm^2 .

A su vez, se observan los resultados del mismo método de compactación con curado por capilaridad a los 7 días de 28.21 kg/cm^2 y a los 28 días de 42.56 kg/cm^2 .

Al contar con un mismo material para ser comparado por dos métodos, esto indica que el método de curado que ofrece más resistencia junto con la compactación bajo esfuerzos de prensa es el método de curado por cámara húmeda.

En este caso la resistencia obtenida se debe a que el material no alcanza la densidad deseada, debido al método de compactación aplicado, ya que se tiene una arcilla de baja plasticidad, haciendo que sea un material que adquiere una alta relación de vacíos. La densidad que se obtuvo de los cilindros curados en cámara húmeda es de 1.68 g/cm^3 y la densidad de los cilindros curados por capilaridad es de 1.58 g/cm^3 .

Capítulo V:

5.1 Conclusiones.

Los ensayos de laboratorio han demostrado que el material de Base Granular se clasifica como un suelo excelente a bueno, con una distribución de partículas óptima para su uso y con bajo porcentaje de desgaste en sus agregados gruesos.

Con el material de la subrasante se obtiene un material con un alto porcentaje de finos con un 96.82%, indicando que la distribución de sus partículas es deficiente, no presenta ningún porcentaje de agregados gruesos, por lo tanto, no se puede obtener el desgaste de este. Es un material altamente plástico con un valor de 25.42 y con un índice de plasticidad de 17.48, con un límite líquido de 42.8, esto quiere decir que tiene la capacidad de absorción elevada.

Entre la compactación por Proctor estándar y bajo esfuerzos de prensa en la Base Granular y la subrasante, se establece que el mejor es la compactación por Proctor estándar, dado que la cantidad de golpes que se ejerce en el material hace que sus partículas adquieran mayor capacidad de unión, logrando que la densidad del material se eleve tanto que pueda brindar una mejor resistencia, lo que no sucede con el método de compactación bajo esfuerzos de prensa, ya que se tienen una gran altura en el material a compactar, dificultando la aplicación de carga uniformemente, impidiendo que los materiales, tanto el granular como el arcilloso, adquieran adherencia y por lo tanto pierda su densidad.

En comparación a los resultados de los métodos de curado se establece que el curado por simulación de cámara húmeda es el más óptimo, dado que las muestras se mantienen en un ambiente en el que la humedad juega un papel clave para el rendimiento de estas.

En el caso de encontrar la humedad óptima se puede decir que el método experimental es idóneo ya que se obtuvo valores similares con una diferencia de 0.5% para materiales granulares, siendo completamente diferente en el caso de materiales finos ya que hay una diferencia de 9.5% entre los dos métodos.

Para el resultado final el cual mide la resistencia al esfuerzo a compresión sometido por la prensa hidráulica utilizada para romper y a su vez realizar el método experimental se obtuvo valores completamente diferentes en los materiales granulares siendo una diferencia muy significativa entre el Proctor estándar y el método experimental, dando como promedio de 62 kg/cm² y de 17 kg/cm² respectivamente este esfuerzo resultante a los 28 días.

En el caso de los materiales finos poseen mejores resultados a estos esfuerzos ya que con el método de Proctor estándar se obtiene un esfuerzo de 50 kg/cm² y con el método experimental un esfuerzo de 54.5% kg/cm² siendo estos resultados a los 28 días.

5.2 Recomendaciones

Se recomienda no fiarse de la clasificación otorgada por terceros y realizar una clasificación del suelo propia debido a que el material con el paso del tiempo cambia, por lo cual no se tiene la total certeza de que los resultados sean lo que se espera obtener con dicho material.

No se recomienda realizar el mejoramiento químico con cemento en un suelo arcilloso debido a la gran cantidad de cemento que se debe emplear, esto a gran escala supone no ser una opción económicamente viable.

Se recomienda establecer una temperatura y tiempo de secado específico para las muestras, dado que algunas muestras al presentar un alto contenido de humedad no se obtiene un buen rendimiento.

Se recomienda usar la compactación por Proctor estándar, ya que, al ser un método tradicional este viene guiado por la normativa, facilitando su aplicación y brindando mejores resultados que el método experimental propuesto.

Se recomienda aplicar el método propuesto y experimental de aplicación de compactación con rotomartillo, ya que, este método puede ser comparado por medio de técnicas, teniendo en cuenta que se debe conocer la energía producida por el rotomartillo para así igualarla a la del método establecido como el Proctor estándar o el modificado.

Se recomienda realizar el mismo proceso de compactación con prensa, pero aplicando a tres capas de compactación la fuerza obtenida por compactar con la prensa, ya que, al aplicar este procedimiento se pueden obtener resultados óptimos y satisfactorios.

Bibliografía

- ASTM D75. (1997). Procedimiento normalizado para el muestreo de los áridos.
<https://www.udocz.com/apuntes/168741/astm-d-75-97>
- Astm_d-2487-06. (s. f.).
- Blanco, R. (2009). La relacion entre densidad aparente y la resistencia mecánica como indicadores de la compactación del suelo. 43(3), 231-239.
- Borselli, L. (2022). Clasificación ingenieril de los suelos y de los macizos rocosos.
- Bowles, J. E. (1990). Manual de laboratorio de suelos en ingeniería civil. McGraw-Hill.
- Braja, M. D. (2015). Fundamentos de ingeniería geotécnica (Cuarta edición). Cengage Learning 2013.
- Braja M. Das. (2013). Fundamentals of geotechnical engineering (4th ed). Cengage Learning.
- Cañas, J. S. (2007). UNIVERSIDAD CENTROAMERICANA.
- Castillo, B. (2017). Estabilización de suelos arcillosos de Macas con valores de CBR menores al 5% y limites líquidos superiores al 100%, para utilizarlos como subrasantes de carreteras.
- Corral, J. T. (2008). Volumen XXXIII, Número 4 Octubre-Diciembre 2008. Ciencia y Sociedad.
- Duque, G., & Escobar, C. (2016). Origen formación y constitución del suelo, físico químico de las Arcillas. <https://www.studocu.com/co/document/universidad-francisco-de-paula-santander/quimica-del-suelo/importante-origen-formacion-y-constitucion-del-sueloduque-y-escobar-2016/9530902>

Gonzales, I. B. C. (2013a). Arq. María de los Ángeles Duarte Pesantez.

Gonzales, I. B. C. (2013b). Arq. María de los Ángeles Duarte Pesantez.

Jara Anyaypoma, R. (2014). PRESENTADO POR EL BACHILLER:

Montejo, A. (2002). Ingeniería de Pavimentos para carreteras tomo I. Agora Editores.

Montejo, A., Montejo, A., & Montejo, A. (2018). Estabilización de suelos (1a ed.). Ediciones de la U.

Montero, I. J. C. (2016). AUTORES: CARLOS JURADO DANIEL CLAVIJO.

Report on soil cement (ACI 230.1R-09). (2009a). American Concrete Institute.

Report on soil cement (ACI 230.1R-09). (2009b). American Concrete Institute.

Rodríguez, A. R. (1992). CONSIDERACIONES SOBRE COMPACTACIÓN DE SUELOS EN OBRAS DE INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTE.

Sanz Llano, J. J. (1975). Mecánica de Suelos. Editions Eyrolles.

Toirac Corral, J. (2012). Caracterización granulométrica de las plantas productoras de arena en la República Dominicana, su impacto en la calidad y costo del hormigón. Ciencia y Sociedad, 37(3), 293-334. <https://doi.org/10.22206/cys.2012.v37i3.pp293-334>

Toro, J. R. G. (2019). ESTUDIO DE LA TÉCNICA DE SUELO-CEMENTO PARA LA ESTABILIZACIÓN DE VÍAS Terciarias en Colombia que posean un alto contenido de caolín.

Ventura, R. A. M., Alvarado, C. M. M., & García, F. J. U. (2023). DISEÑO DE UNA PRENSA HIDRÁULICA PARA COMPACTACIÓN DE POLVOS METÁLICOS EN EL SINTERIZADO.

Anexos.

Anexo 1.

Análisis granulométrico de Base Granular.

 Universidad Católica de Cuenca		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL					
		LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN					
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE BASE							
PROYECTO:		TESIS analisis comparativo entre metodos de compactacion y de curado					
REALIZADO POR:		Karen Condo y Kelvin Gutierrez					
MUESTRA:		Base					
FECHA:		4/4/2023					
TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gramos)	PESO RET. ACUMULADO (gramos)	% RETENIDO	% PASA	ESPECIFICACIONES NORMA	
						LIMITE SUPERIOR	LIMITE INFERIOR
3''	76,2	0	0	0			
2 1/2 ''	63,5	0	0	0			
2''	50,8	0	0	0	100	100	100
1 1/2 ''	38,1	0	0	0	100	100	70
1''	25,4	1403	1403	9,93	90,07	90	60
3/4''	19,1	1580	2983	21,12	78,88	75	45
1/2''	12,7	1429,5	4412,5	31,24	68,76		
3/8''	9,52	767,5	5180	36,68	63,32	60	30
Nº4	4,76	1622,5	6802,5	48,16	51,84	50	20
PASA Nº4 (FONDO)		7623,5					
10	2	97,5	97,5	58,69	41,31	25	10
40	0,42	193,5	291	79,58	20,42	12	2
200	0,074	104	395	90,81	9,19		
FONDO		0,5					
TOTAL		14123,64					
Peso antes del ensayo (gramos) =			14515	Peso húmedo antes del lavado (gramos) =			516,70
Peso después del ensayo (gramos) =			14123,63704	Peso seco antes del lavado (gramos) =			500
% Humedad =			4,13	Peso después del lavado (gramos) =			480,17

Anexo 2.

Ensayo de abrasión de Base Granular.


 Universidad Católica de Cuenca		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL				
		LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN				
ENSAYO DE ABRASIÓN						
PROYECTO:		Tesis analisis comparativo metodos de compactacion y curado				
REALIZADO POR:		Karen Condo y Kelvin Gutierrez				
MUESTRA:		Base				
FECHA:		17/4/2023				
ABERTURA DE LOS TAMICES EN (mm)		Peso del material según el tipo de gradación	GRADACIÓN			
			Tipo A	Tipo B	Tipo C	Tipo D
Pasante	Retenido					
37,5	25	1250	1250±25			
25	19	1253	1250±25			
19	12,5	1250	1250±25	1250±25		
12,5	9,5	1253	1250±25	1250±25		
9,5	6,3			1250±25		
6,3	4,75			1250±25		
4,75	2,36				5000±10	
total		5006	5000±10	5000±10	5000±10	

A: PESO DE LA MUESTRA TAMIZADA EN EL NUMERO 12 (gramos)	3967,5
B: PESO TOTAL DE LA MUESTRA SEGÚN LA GRADACIÓN (gramos)	5006

ABRASIÓN	=	$\frac{B-A}{B}$	=	0,2075	=	20,75	%
-----------------	---	-----------------	---	--------	---	-------	---


Anexo 3.

Ensayo de Proctor Estándar de Base Granular.

 Universidad Católica de Cuenca	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL									
	LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN									
ENSAYO DE COMPACTACION MEDIANTE PROCTOR ESTANDAR										
PROYECTO:	TESIS análisis comparativo entre métodos de compactación y de curado									
MUESTRA:	Base									
SOLICITADO POR:	Karen Condo y Kelvin Gutierrez									
FECHA:	11 de abril de 2023									
MUESTRA	1		2		3		4		5	
HUMEDAD AÑADIDA EN %	8,48		11,48		14,48		17,48		20,48	
AGUA AUMENTADA EN CC	138,24		187,14		231,16		248,47		333,87	
NUMERO DE MOLDE	#3		#4		#5		#6		#2	
PESO DEL MOLDE CILÍNDRICO + SUELO HÚMEDO (P1)	6702,5		6809		6440		5694		6896,5	
PESO DEL MOLDE CILÍNDRICO (P2)	4688,5		4688,5		4253		3504,5		4688,5	
PESO DEL SUELO HÚMEDO P1-P2=P3	2014		2120,5		2187		2189,5		2208	
VOLUMEN DEL MOLDE SIN EL COLLARÍN	930,17		930,17		892,93		937,38		930,17	
DENSIDAD HÚMEDA D1=P3/V. g/cm³	2,17		2,28		2,45		2,34		2,37	
MUESTRA	1		2		3		4		5	
NÚMERO DE TARRO	S7	B2	B	A3	A6	A1	I7	A10	25	13N
PESO DEL TARRO + SUELO HUMEDO	125,6	149,99	187,74	174,6	145,19	155,88	230,22	208,04	188,43	178,85
PESO DEL TARRO + SUELO SECO	119,83	143,91	175,57	164,76	133,99	144,36	212,72	192,21	172,71	164,09
PESO DEL AGUA	5,7	6,1	12,2	9,8	11,2	11,5	17,5	15,8	15,7	14,8
PESO DEL TARRO	43,41	66,44	43,93	53,02	43,68	52,22	67,51	64,98	68,24	64,73
PESO DEL SUELO SECO	76,42	77,47	131,64	111,74	90,31	92,14	145,21	127,23	104,47	99,36
CONTENIDO DE AGUA EN %	7,51	7,85	9,24	8,81	12,40	12,50	12,05	12,44	15,05	14,86
CONTENIDO PROMEDIO DE AGUA EN %	7,68		9,03		12,45		12,25		14,95	
DENSIDAD SECA g/cm³	2,02		2,09		2,18		2,08		2,06	

Anexo 4.

Ensayo de compactación mediante esfuerzos de prensa de Base Granular.


 Universidad Católica de Cuenca	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
	LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN
ENSAYO DE COMPACTACION MEDIANTE PRENSA HIDRAULICA	
PROYECTO:	TESIS ANALISIS COMPARATIVO ENTRE 2 METODOS DE CURADO Y 2 DE COMPACTACIÓN
MUESTRA:	Base
REALIZADO POR:	Karen Condo y Kelvin Gutierrez
FECHA:	11/4/2023

MUESTRA	1	2	3	4	5
HUMEDAD AÑADIDA EN %	13,3	16,3	19,3	22,3	25,3
AGUA AUMENTADA EN CC	200	250	300	350	400
NUMERO DE MOLDE	25250	25250	25250	25250	25250
PESO DEL MOLDE CILÍNDRICO + SUELO HÚMEDO (P1)	6516,5	6440	6722,5	6738	6727,5
PESO DEL MOLDE CILÍNDRICO (P2)	4699,5	4699,5	4699,5	4699,5	4699,5
PESO DEL SUELO HÚMEDO P1-P2=P3	1817	1740,5	2023	2038,5	2028
VOLUMEN DEL MOLDE SIN EL COLLARÍN	889,315	889,315	889,315	889,315	889,315
DENSIDAD HÚMEDA D1=P3/V. g/cm ³	2,04	1,96	2,27	2,29	2,28

MUESTRA	1		2		3		4		5	
NÚMERO DE TARRO	15	20	S7	P1	A5	C4	J3D	1B	A6	G
PESO DEL TARRO + SUELO HUMEDO	196,93	192,19	166,7	245,46	179,34	178,1	202,61	224,18	232,65	197,48
PESO DEL TARRO + SUELO SECO	184,44	181,86	158,38	229,51	166,34	167,74	181,88	203,36	209,41	175,23
PESO DEL AGUA	12,5	10,3	8,3	16,0	13,0	10,4	20,7	20,8	23,2	22,3
PESO DEL TARRO	65,58	67,18	43,41	69,66	67,49	65,67	65,38	65,89	69,71	62,57
PESO DEL SUELO SECO	118,86	114,68	114,97	159,85	98,85	102,07	116,5	137,47	139,7	112,66
CONTENIDO DE AGUA EN %	10,51	9,01	7,24	9,98	13,15	10,15	17,79	15,15	16,64	19,75
CONTENIDO PROMEDIO DE AGUA EN %	9,76		8,61		11,65		16,47		18,19	
DENSIDAD SECA g/cm ³	1,859		1,805		2,033		1,966		1,929	


Anexo 5.

Análisis granulométrico de subrasante o suelo natural.

 Universidad Católica de Cuenca	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL				
	LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN				
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUBRASANTE					
PROYECTO:	TESIS análisis comparativo entre métodos de compactación y curado				
REALIZADO POR:	Karen Condo y Kelvin Gutierrez				
MUESTRA:	Subrasante, El Cabo, Paute				
FECHA:	3/5/2023				
TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gramos)	PESO RET. ACUMULAD O (gramos)	% RETENIDO	% PASA
3''	76,2	0	0	0	
2 1/2 ''	63,5	0	0	0	
2''	50,8	0	0	0	100
1 1/2 ''	38,1	0	0	0	100
1''	25,4	0	0	0	100
3/4''	19,1	0	0	0	100
1/2''	12,7	0	0	0	100
3/8''	9,52	0	0	0	100
Nº4	4,76	0	0	0	100
PASA Nº4 (FONDO)		0			
10	2	15,9	15,9	3,18	96,82
40	0,42	21,9	37,8	4,38	95,62
200	0,074	62	99,8	12,40	87,60
FONDO		400,2			
TOTAL		500			

Anexo 6.

Ensayo de límites de consistencia.

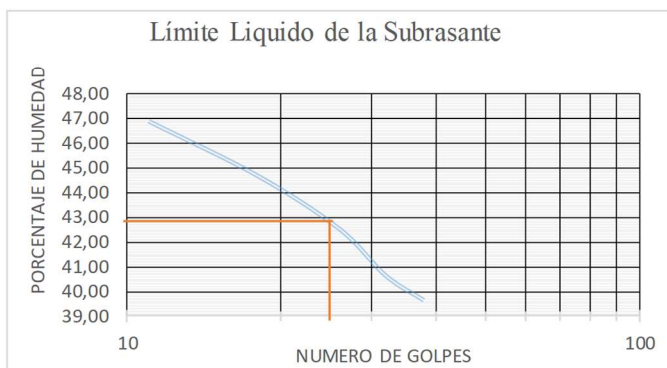
 Universidad Católica de Cuenca	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
	LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN
LÍMITES DE ATTERBERG DE LA SUBRASANTE	
PROYECTO:	TESIS (análisis comparativo de 2 tipos de curado y 2 de compactación)
REALIZADO POR:	Karen Condo y Kelvin Gutierrez
MUESTRA:	Subrasante, El Cabo, Paute
FECHA:	4/5/2023

LIMITE LÍQUIDO

Nº Golpes	38	32	26	18	11
Recipiente Nº	2	DA	X	B	Am
Recipiente + M. Húmeda	40,91	35,52	38,66	34,91	34,61
Recipiente + M. Seca	35,34	31,23	34,54	30,84	30,29
Peso Recipiente	21,28	20,67	24,85	21,73	21,08
% Humedad	39,62	40,63	42,52	44,68	46,91

GRAFICO	
GOLPES	%H
38	39,62
32	40,63
26	42,52
18	44,68
11	46,91

Limite Liquido TOTAL	
N. Golpes	25
% Humedad	42,8

**LIMITE PLÁSTICO**


Recipiente Nº	P5	P9	P10	M	S7
Recipiente + M. Húmeda	12,73	11,76	11,66	13,56	14,08
Recipiente + M. Seca	12,26	11,35	11,42	12,9	13,43
Peso Recipiente	10,21	9,87	10,37	10,34	11,05
% Humedad	22,93	27,70	22,86	25,78	27,31

LIMITE PLASTICO	25,32
------------------------	-------

INDICE DE PLASTICIDAD	17,48
------------------------------	-------

Anexo 7.

Ensayo de compactación por Proctor estándar en subrasante o suelo natural.


 Universidad Católica de Cuenca	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
	LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN
ENSAYO DE COMPACTACION PROCTOR ESTANDAR	
PROYECTO:	TESIS ANALISIS COMPARATIVO ENTRE 2 METODOS DE CURADO Y 2 DE COMPACTACIÓN
REALIZADO POR:	Karen Condo y Kelvin Gutierrez
MUESTRA:	Subrasante, El Cabo, Paute
FECHA:	5/5/2023

MUESTRA	1	2	3	4	5
HUMEDAD AÑADIDA EN %	21,95	24,95	27,95	30,95	8,13
AGUA AUMENTADA EN CC	420	490	560	630	0,00
NUMERO DE MOLDE	#3	#4	#5	#6	#2
PESO DEL MOLDE CILÍNDRICO + SUELO HÚMEDO (P1)	6482,5	6518	6483	6453	6053,5
PESO DEL MOLDE CILÍNDRICO (P2)	4670	4670	4670	4670	4670
PESO DEL SUELO HÚMEDO P1-P2=P3	1812,5	1848	1813	1783	1383,5
VOLUMEN DEL MOLDE SIN EL COLLARÍN	956,04	956,04	956,04	956,04	956,04
DENSIDAD HÚMEDA D1=P3/V. g/cm ³	1,90	1,93	1,90	1,87	1,45

MUESTRA	1		2		3		4		5	
NÚMERO DE TARRO	S7	D3	T4	G	1	I7	A10	I9	4B	3B
PESO DEL TARRO + SUELO HUMEDO	108,34	121,07	106,10	143,02	213,19	130,38	185,02	114,58	220,70	177,23
PESO DEL TARRO + SUELO SECO	97,95	112,76	95,15	128,20	183,98	115,95	158,39	98,80	210,97	166,94
PESO DEL AGUA	10,39	8,31	10,95	14,82	29,21	14,43	26,63	15,78	9,73	10,29
PESO DEL TARRO	43,42	66,75	43,97	66,55	65,58	53,68	64,97	43,22	87,83	43,72
PESO DEL SUELO SECO	54,53	46,01	51,18	61,65	118,40	62,27	93,42	55,58	123,14	123,22
CONTENIDO DE AGUA EN %	19,05	18,06	21,40	24,04	24,67	23,17	28,51	28,39	7,90	8,35
CONTENIDO PROMEDIO DE AGUA EN %	18,56		22,72		23,92		28,45		8,13	
DENSIDAD SECA g/cm ³	1,60		1,58		1,53		1,45		1,34	

Anexo 8.

Ensayo de compactación por prensa hidráulica en subrasante o suelo natural.

 Universidad Católica de Cuenca	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
	LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN
ENSAYO DE COMPACTACION MEDIANTE PRENSA HIDRAULICA	
PROYECTO:	TESIS ANALISIS COMPARATIVO ENTRE 2 METODOS DE CURADO Y 2 DE COMPACTACIÓN
REALIZADO POR:	Karen Condo y Kelvin Gutierrez
MUESTRA:	Subrasante, El Cabo, Paute
FECHA:	15/5/2023

MUESTRA	1	2	3	4	5
HUMEDAD AÑADIDA EN %	23,5	26,5	32,5	38,5	35,5
AGUA AUMENTADA EN CC	350	420	560	700	630
NUMERO DE MOLDE	25250	25250	25250	25250	25250
PESO DEL MOLDE CILÍNDRICO + SUELO HÚMEDO (P1)	6271,5	6358	6417	6384,5	6344
PESO DEL MOLDE CILÍNDRICO (P2)	4671	4671	4671	4671	4671
PESO DEL SUELO HÚMEDO P1-P2=P3	1600,5	1687	1746	1713,5	1673
VOLUMEN DEL MOLDE SIN EL COLLARÍN	956,04	956,04	956,04	956,04	956,04
DENSIDAD HÚMEDA D1=P3/V. g/cm ³	1,670	1,760	1,830	1,790	1,750

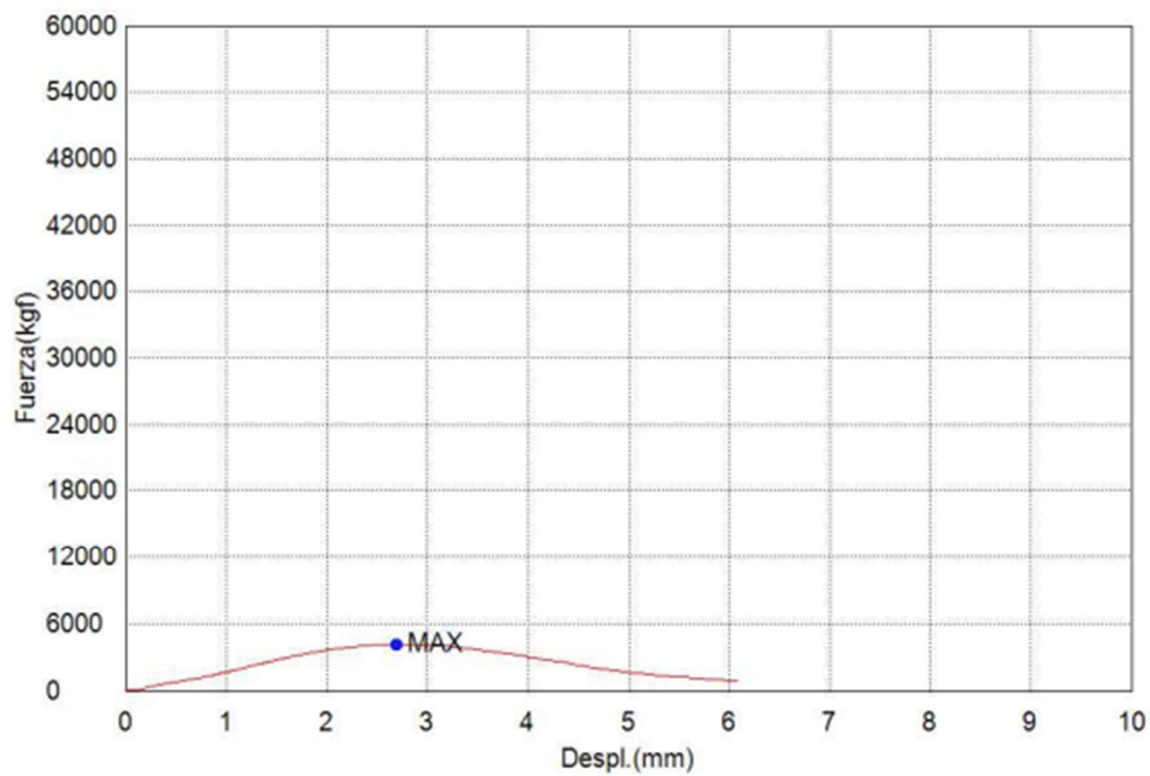
MUESTRA	1		2		3		4		5	
NÚMERO DE TARRO	A3	D31	20	14	A1	2N	510	24	10	B4
PESO DEL TARRO + SUELO HUMEDO	136	117,98	144,3	124,16	116,25	133,07	218,02	235,71	167,76	165,03
PESO DEL TARRO + SUELO SECO	121,04	105,81	130,57	111,98	98,45	116,83	179,44	193,25	135,45	130,98
PESO DEL AGUA	15,0	12,2	13,7	12,2	17,8	16,2	38,6	42,5	32,3	34,1
PESO DEL TARRO	52,95	44,19	64,54	53,08	38,5	65,26	68,14	65,76	52,87	43,95
PESO DEL SUELO SECO	68,09	61,62	66,03	58,9	59,95	51,57	111,3	127,49	82,58	87,03
CONTENIDO DE AGUA EN %	21,97	19,75	20,75	20,68	29,69	31,49	34,66	33,30	39,13	39,12
CONTENIDO PROMEDIO DE AGUA EN %	20,86		20,71		30,59		33,98		39,13	
DENSIDAD SECA g/cm ³	1,38		1,46		1,40		1,34		1,26	

Anexo 9.

Ensayo de resistencia a compresión a los 7 días de curado por cámara húmeda, de Base Granular-cemento con compactación por Proctor estándar. Muestra 1.

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	_20230428_1241.xtux	Nombre de metodo de ensayo	
Fecha de informe	28/4/2023	Fecha de ensayo	28/4/2023
Modo de Ensayo	Concrete	Tipo de ensayo	Compresion
Velocidad	2,5kgf/cm2/sec	Forma	Cylinder
Nº de partidas:	1	Nº de muestras:	1

Nombre Parametros	Max. Fuerza Calc. at Entire Areas kgf	Max. Tension Calc. at Entire Areas kgf/cm2
Unidad		
1_1	4160	51,9
Media	4160	51,9
Desviacion Estandar	--	--
Rango	0.00000	0.00000



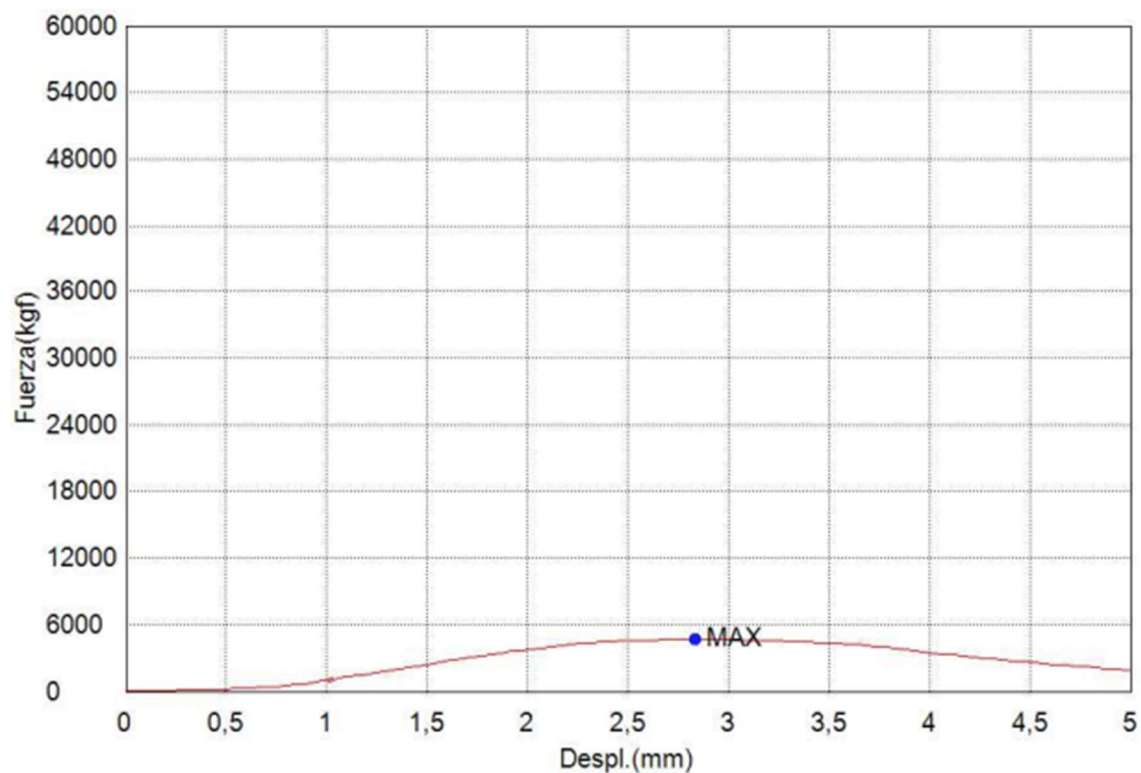
Comentarios

Anexo 10.

Ensayo de resistencia a compresión a los 7 días de curado por cámara húmeda, de Base Granular-cemento con compactación por Proctor estándar. Muestra 2.

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	_20230428_1249.xtux	Nombre de metodo de ensayo	
Fecha de informe	28/4/2023	Fecha de ensayo	28/4/2023
Modo de Ensayo	Concrete	Tipo de ensayo	Compresion
Velocidad	2,5kgf/cm2/sec	Forma	Cylinder
Nº de partidas:	1	Nº de muestras:	1

Nombre Parametros	Max. Fuerza Calc. at Entire Areas	Max. Tension Calc. at Entire Areas
Unidad	kgf	kgf/cm2
1_1	4660	58,2
Media	4660	58,2
Desviacion Estandar	--	--
Rango	0,00000	0,00000



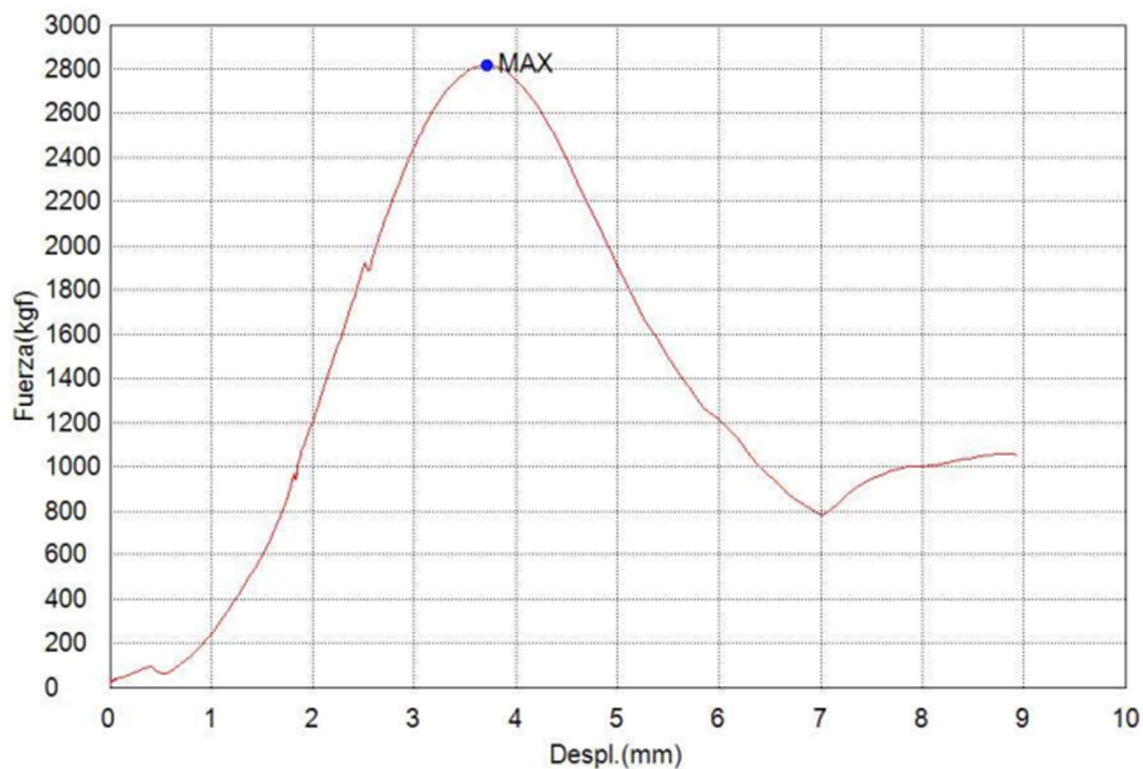
Comentarios

Anexo 11.

Ensayo de resistencia a compresión a los 14 días de curado por cámara húmeda, de Base Granular-cemento con compactación por Proctor estándar. Muestra 1.

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	_20230504_1250.xtux	Nombre de metodo de ensayo	
Fecha de informe	4/5/2023	Fecha de ensayo	4/5/2023
Modo de Ensayo	Concrete	Tipo de ensayo	Compresion
Velocidad	2,5kgf/cm2/sec	Forma	Cylinder
Nº de partidas:	1	Nº de muestras:	1

Nombre Parametros	Max_Fuerza Calc. at Entire Areas	Max_Tension Calc. at Entire Areas
Unidad	kgf	kgf/cm2
1_1	2820	35,2
Media	2820	35,2
Desviacion Estandar	--	--
Rango	0.00000	0.00000



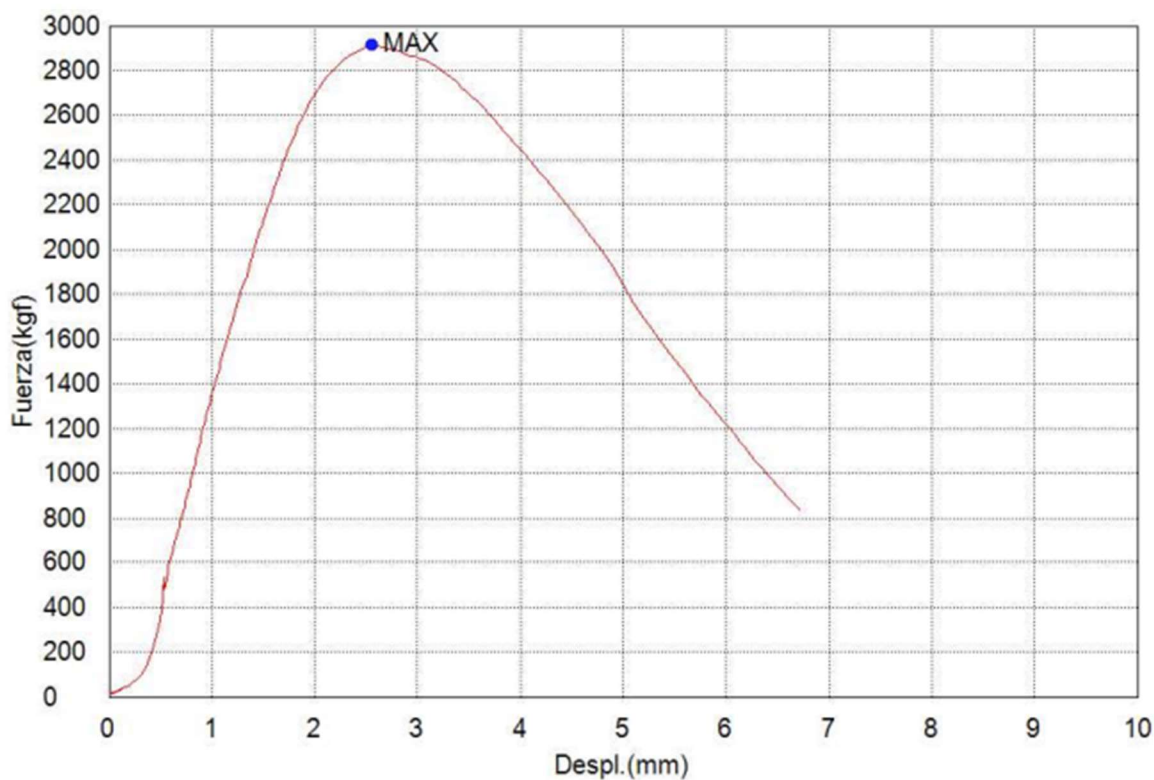
Comentarios

Anexo 12.

Ensayo de resistencia a compresión a los 14 días de curado por cámara húmeda, de Base Granular-cemento con compactación por Proctor estándar. Muestra 2.

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	_20230504_1257.xtux	Nombre de metodo de ensayo	
Fecha de informe	4/5/2023	Fecha de ensayo	4/5/2023
Modo de Ensayo	Concrete	Tipo de ensayo	Compresion
Velocidad	2,5kgf/cm2/sec	Forma	Cylinder
N°de partidas:	1	N°de muestras:	1

Nombre Parametros	Max._Fuerza Calc. at Entire Areas	Max._Tension Calc. at Entire Areas
Unidad	kgf	kgf/cm2
1 _ 1	2910	36,3
Media	2910	36,3
Desviacion Estandar	--	--
Rango	0,00000	0,00000



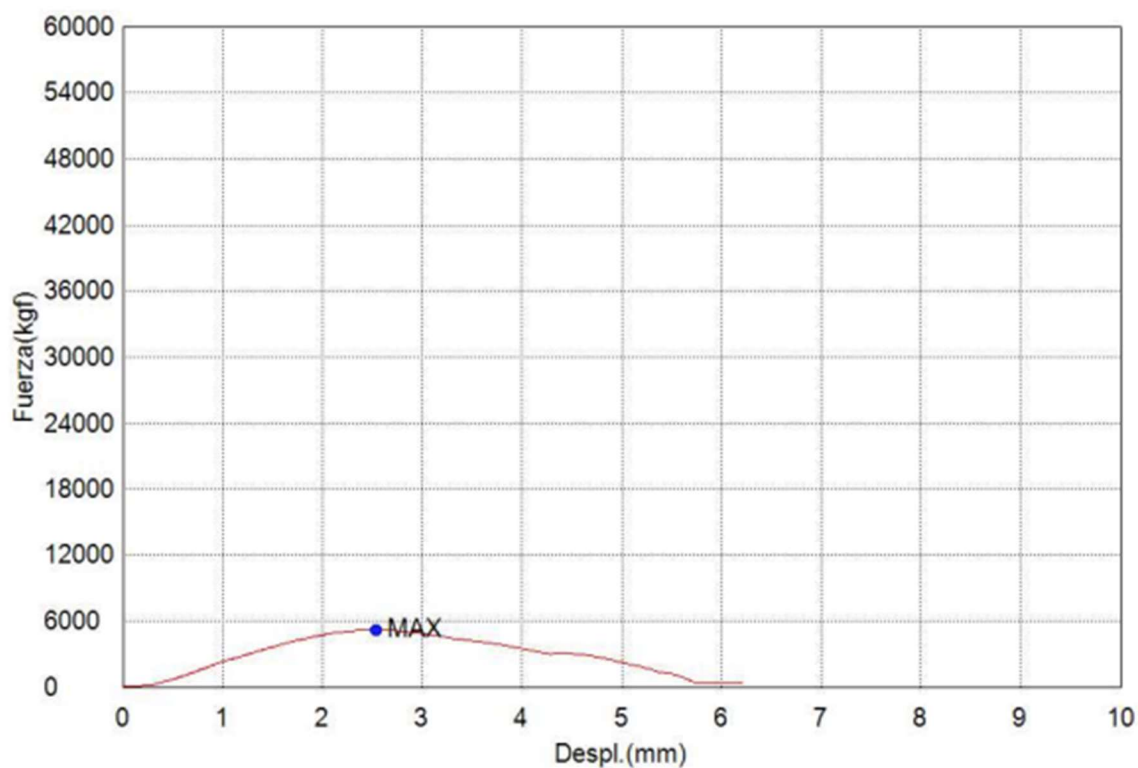
Comentarios

Anexo 13.

Ensayo de resistencia a compresión a los 28 días de curado por cámara húmeda, de Base Granular-cemento con compactación por Proctor estándar. Muestra 1.

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	_20230518_1305.xtux	Nombre de metodo de ensayo	
Fecha de informe	18/5/2023	Fecha de ensayo	18/5/2023
Modo de Ensayo	Concrete	Tipo de ensayo	Compresion
Velocidad	2,5kgf/cm2/sec	Forma	Cylinder
Nºde partidas:	1	Nºde muestras:	1

Nombre	Max. Fuerza	Max. Tension
Parametros	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas
Unidad	kgf	kgf/cm2
1_1	5190	64,8
Media	5190	64,8
Desviacion Estandar	--	--
Rango	0,00000	0,00000



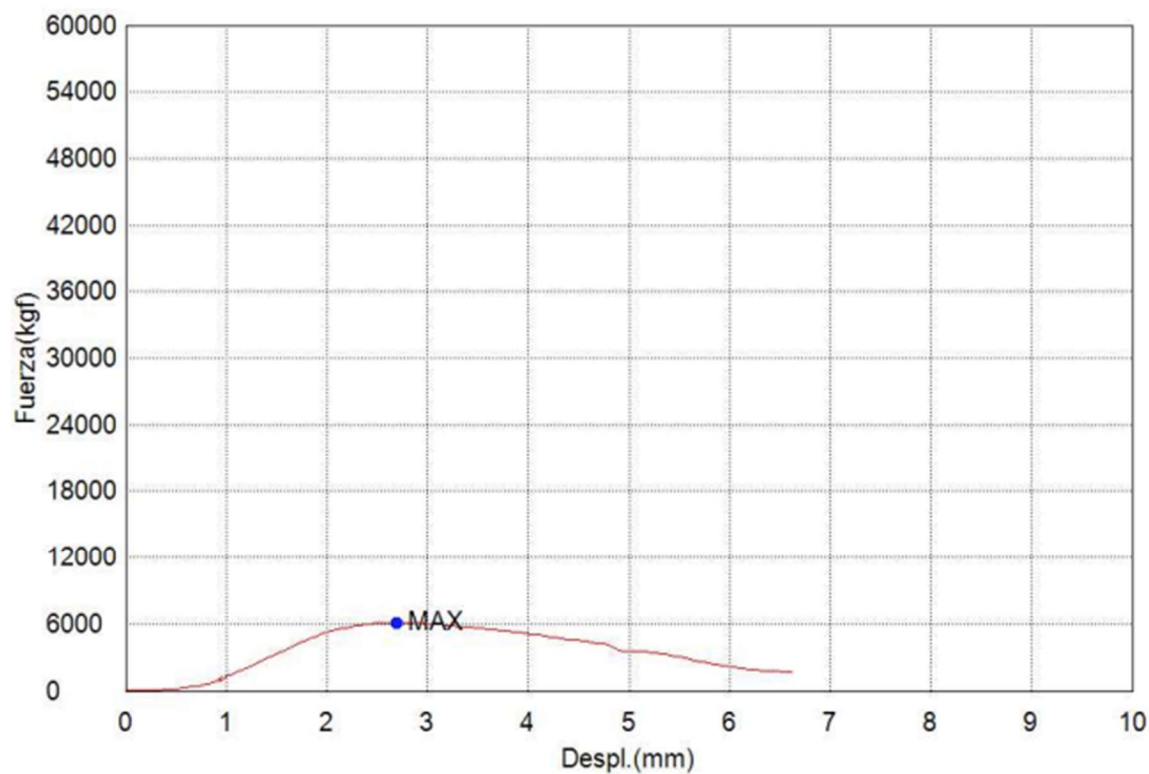
Comentarios

Anexo 14.

Ensayo de resistencia a compresión a los 28 días de curado por cámara húmeda, de Base Granular-cemento con compactación por Proctor estándar. Muestra 2.

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	_20230518_1310.xtux	Nombre de metodo de ensayo	
Fecha de informe	18/5/2023	Fecha de ensayo	18/5/2023
Modo de Ensayo	Concrete	Tipo de ensayo	Compresion
Velocidad	2,5kgf/cm2/sec	Forma	Cylinder
N°de partidas:	1	N°de muestras:	1

Nombre Parametros	Max_Fuerza Calc. at Entire Areas	Max_Tension Calc. at Entire Areas
Unidad	kgf	kgf/cm2
1_1	6150	76,8
Media	6150	76,8
Desviacion Estandar	--	--
Rango	0,00000	0,00000



Comentarios

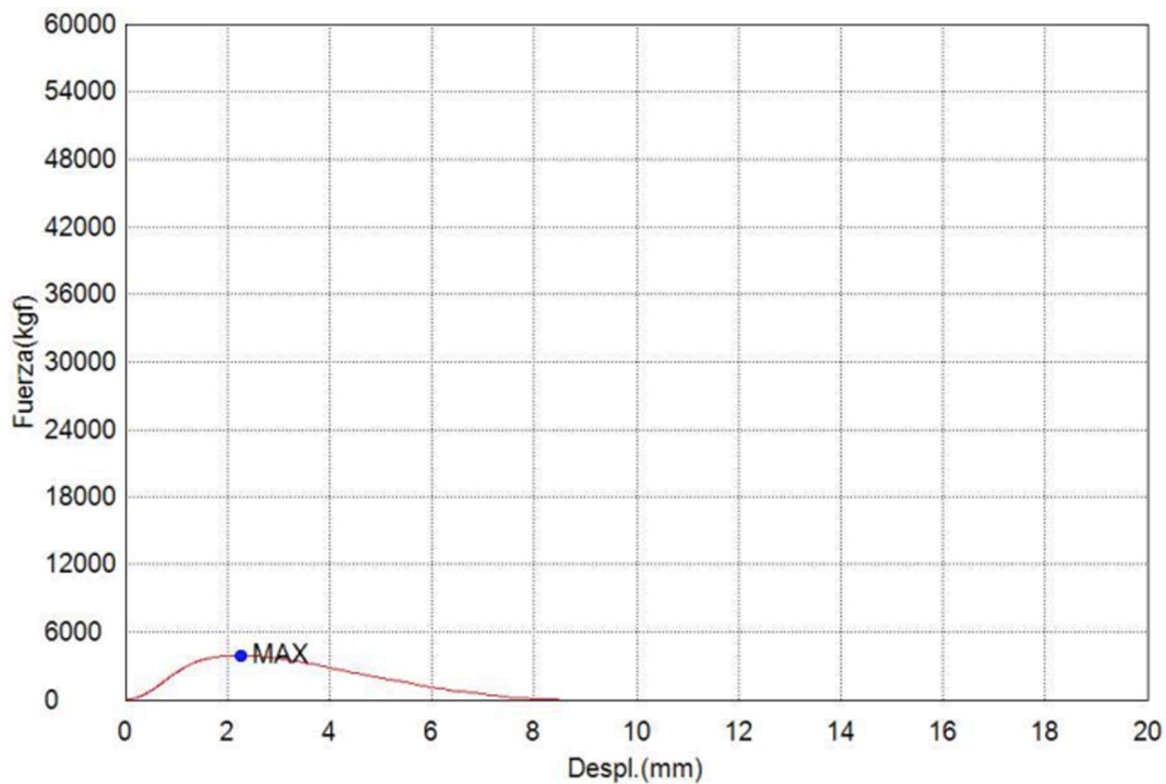
Anexo 15.

Ensayo de resistencia a compresión a los 7 días de curado por capilaridad, de Base

Granular-cemento con compactación por Proctor estándar. Muestra 1.

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	_20230505_1220.xtux	Nombre de metodo de ensayo	
Fecha de informe	5/5/2023	Fecha de ensayo	5/5/2023
Modo de Ensayo	Concrete	Tipo de ensayo	Compresion
Velocidad	2,5kgf/cm2/sec	Forma	Cylinder
Nº de partidas:	1	Nº de muestras:	1

Nombre Parametros	Max. Fuerza Calc. at Entire Areas	Max. Tension Calc. at Entire Areas
Unidad	kgf	kgf/cm2
1 _ 1	3920	48,9
Media	3920	48,9
Desviacion Estandar	--	--
Rango	0,00000	0,00000



Comentarios

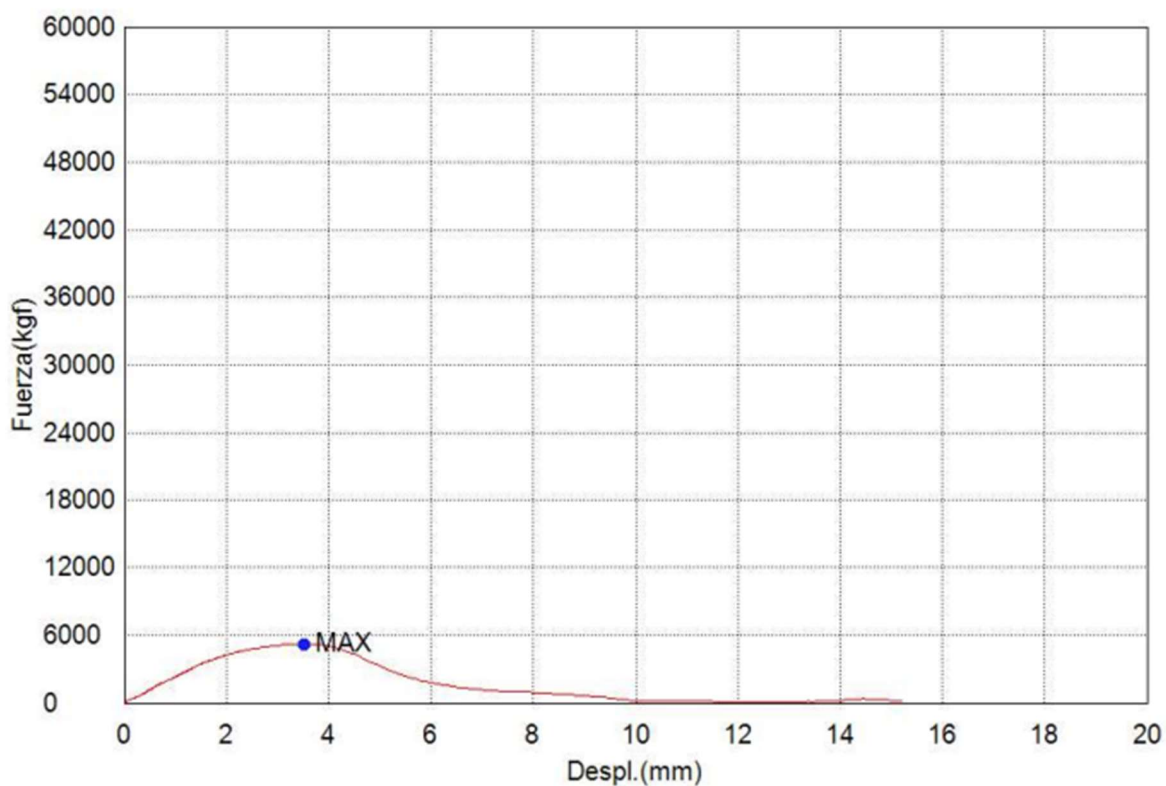
Anexo 16.

Ensayo de resistencia a compresión a los 7 días de curado por capilaridad, de Base

Granular-cemento con compactación por Proctor estándar. Muestra 2.

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	_20230505_1215.xtux	Nombre de metodo de ensayo	
Fecha de informe	5/5/2023	Fecha de ensayo	5/5/2023
Modo de Ensayo	Concrete	Tipo de ensayo	Compresion
Velocidad	2,5kgf/cm2/sec	Forma	Cylinder
Nº de partidas:	1	Nº de muestras:	1

Nombre Parametros	Max_Fuerza Calc. at Entire Areas	Max_Tension Calc. at Entire Areas
Unidad	kgf	kgf/cm2
1_1	5210	65
Media	5210	65
Desviacion Estandar	--	--
Rango	0,00000	0,00000



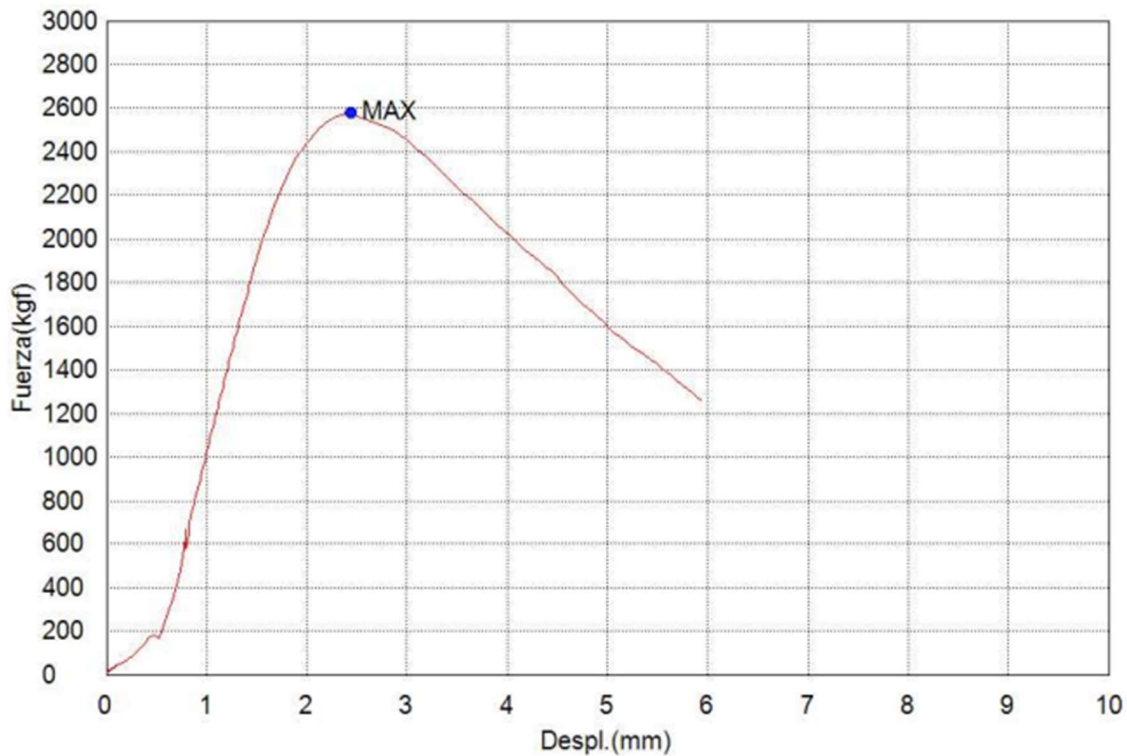
Comentarios

Anexo 17.

Ensayo de resistencia a compresión a los 14 días de curado por capilaridad, de Base Granular-cemento con compactación por Proctor estándar. Muestra 1.

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	_20230504_1307.xtux	Nombre de metodo de ensayo	
Fecha de informe	4/5/2023	Fecha de ensayo	4/5/2023
Modo de Ensayo	Concrete	Tipo de ensayo	Compresion
Velocidad	2,5kgf/cm2/sec	Forma	Cylinder
Nº de partidas:	1	Nº de muestras:	1

Nombre Parametros	Max._Fuerza Calc. at Entire Areas kgf	Max._Tension Calc. at Entire Areas kgf/cm2
Unidad		
1_1	2580	32,2
Media	2580	32,2
Desviacion Estandar	--	--
Rango	0,00000	0,00000



Comentarios

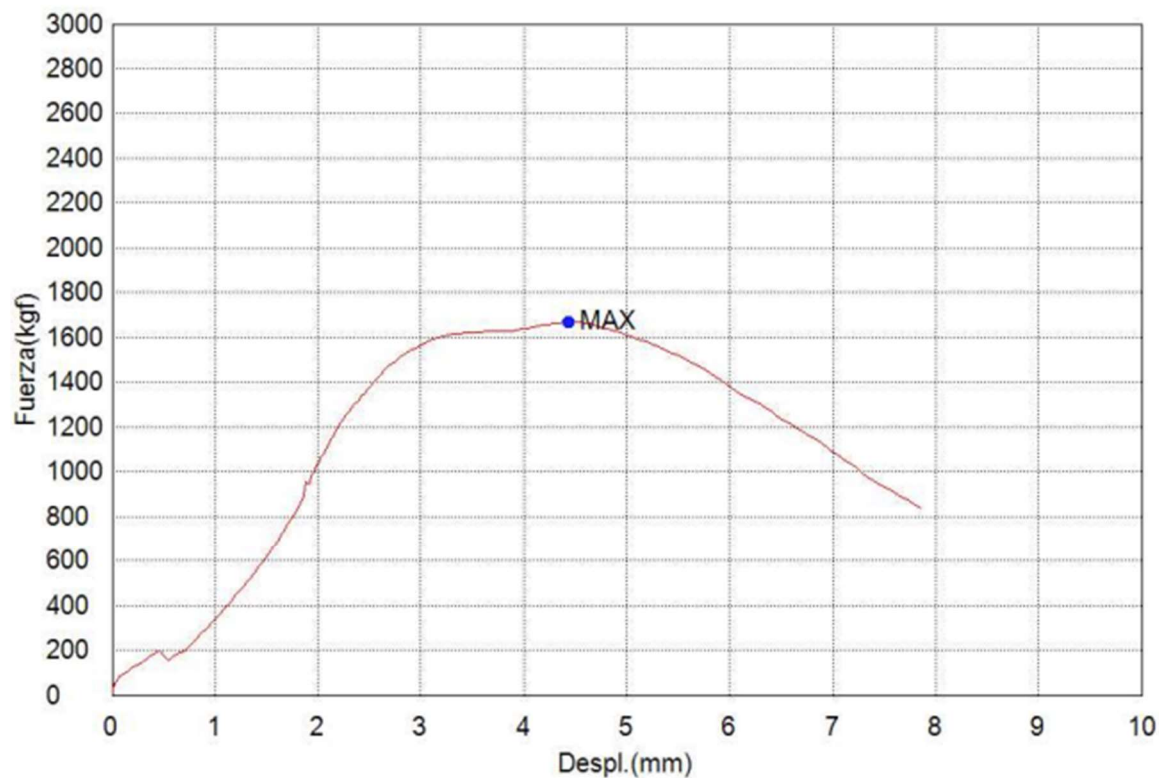
Anexo 18.

Ensayo de resistencia a compresión a los 14 días de curado por capilaridad, de Base

Granular-cemento con compactación por Proctor estándar. Muestra 2.

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	_20230504_1314.xtux	Nombre de metodo de ensayo	
Fecha de informe	4/5/2023	Fecha de ensayo	4/5/2023
Modo de Ensayo	Concrete	Tipo de ensayo	Compresion
Velocidad	2,5kgf/cm2/sec	Forma	Cylinder
Nº de partidas:	1	Nº de muestras:	1

Nombre Parametros	Max._Fuerza Calc. at Entire Areas	Max._Tension Calc. at Entire Areas
Unidad	kgf	kgf/cm2
1_1	1670	20,8
Media	1670	20,8
Desviacion Estandar	--	--
Rango	0,00000	0,00000



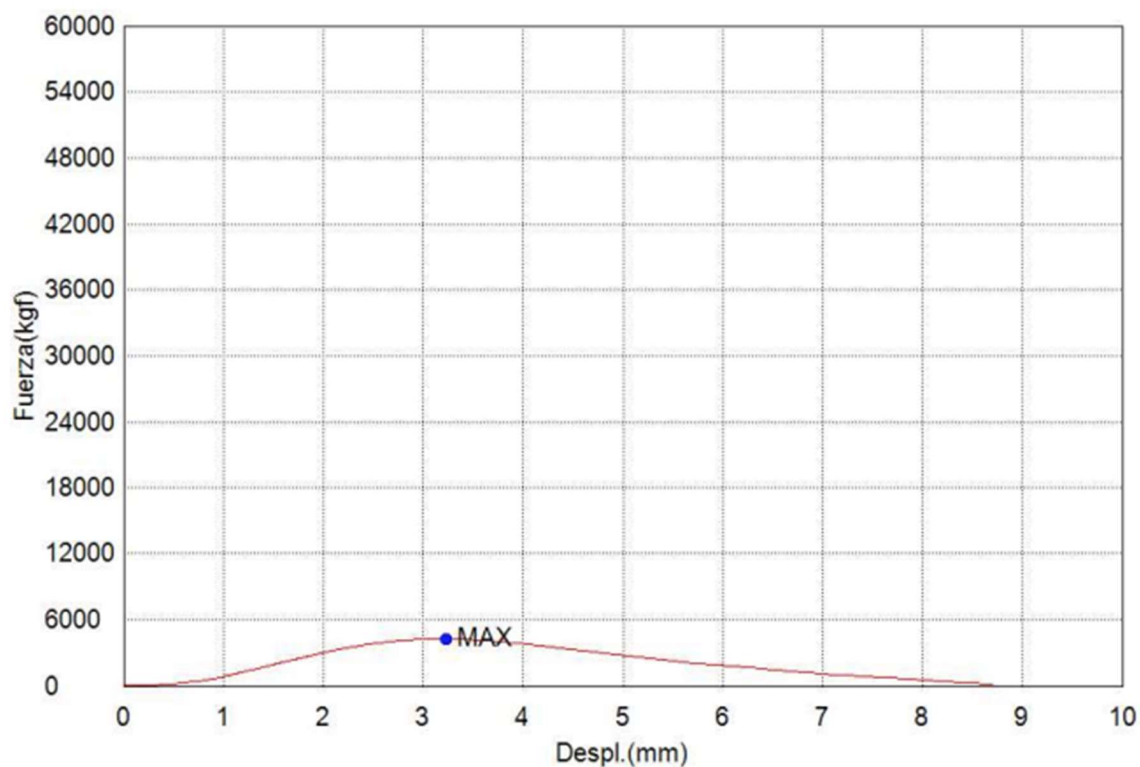
Comentarios

Anexo 19.

Ensayo de resistencia a compresión a los 28 días de curado por capilaridad, de Base Granular-cemento con compactación por Proctor estándar. Muestra 1.

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	_20230518_1313.xtux	Nombre de metodo de ensayo	
Fecha de informe	18/5/2023	Fecha de ensayo	18/5/2023
Modo de Ensayo	Concrete	Tipo de ensayo	Compresion
Velocidad	2,5kgf/cm2/sec	Forma	Cylinder
Nº de partidas:	1	Nº de muestras:	1

Nombre Parametros	Max._Fuerza Calc. at Entire Areas kgf	Max._Tension Calc. at Entire Areas kgf/cm2
Unidad		
1_1	4260	53,2
Media	4260	53,2
Desviacion Estandar	--	--
Rango	0,00000	0,00000



Comentarios

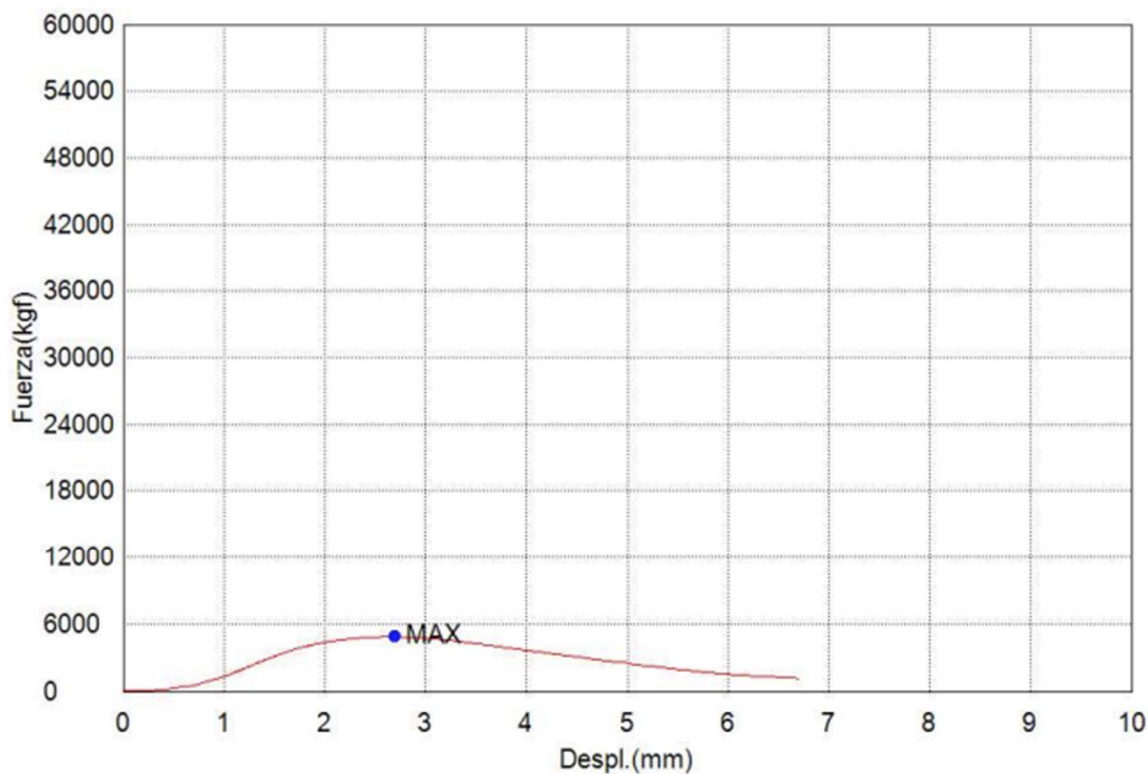
Anexo 20.

Ensayo de resistencia a compresión a los 28 días de curado por capilaridad, de Base

Granular-cemento con compactación por Proctor estándar. Muestra 2.

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	_20230518_1317.xtux	Nombre de metodo de ensayo	
Fecha de informe	18/5/2023	Fecha de ensayo	18/5/2023
Modo de Ensayo	Concrete	Tipo de ensayo	Compresion
Velocidad	2,5kgf/cm2/sec	Forma	Cylinder
Nºde partidas:	1	Nºde muestras:	1

Nombre Parametros	Max_Fuerza Calc. at Entire Areas	Max_Tension Calc. at Entire Areas
Unidad	kgf	kgf/cm2
1_1	4890	61
Media	4890	61
Desviacion Estandar	--	--
Rango	0,00000	0,00000



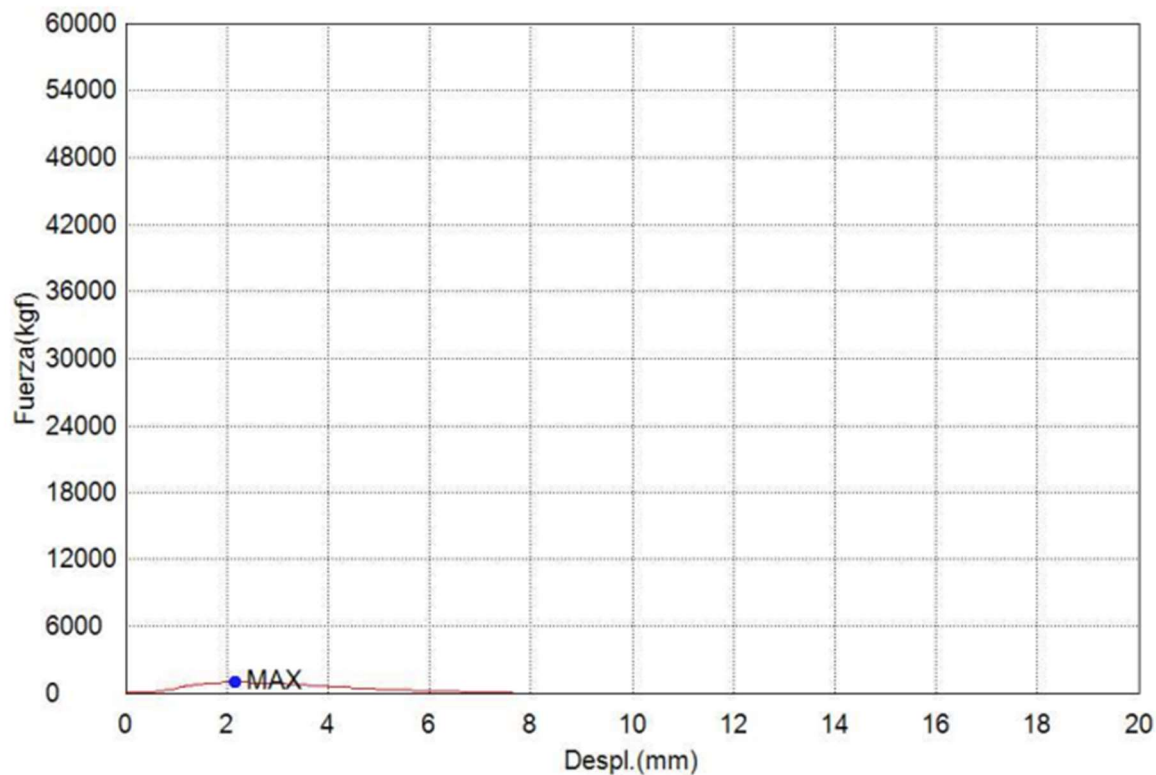
Comentarios

Anexo 21.

Ensayo de resistencia a compresión a los 7 días de curado por cámara húmeda, de Base Granular-cemento con compactación bajo esfuerzos de prensa. Muestra 1.

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	_20230505_1226.xtux	Nombre de metodo de ensayo	
Fecha de informe	5/5/2023	Fecha de ensayo	5/5/2023
Modo de Ensayo	Concrete	Tipo de ensayo	Compresion
Velocidad	2,5kgf/cm2/sec	Forma	Cylinder
Nº de partidas:	1	Nº de muestras:	1

Nombre Parametros	Max._Fuerza Calc. at Entire Areas	Max._Tension Calc. at Entire Areas
Unidad	kgf	kgf/cm2
1_1	947	11,8
Media	947	11,8
Desviacion Estandar	--	--
Rango	0,00000	0,00000



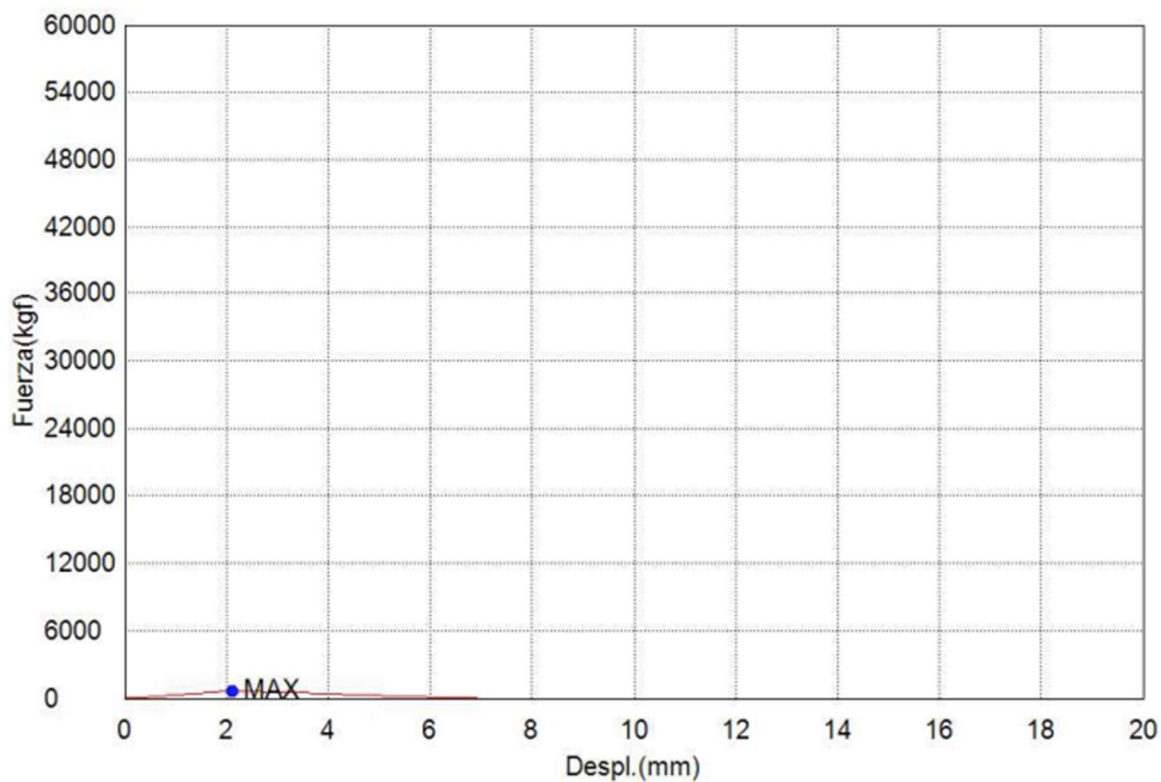
Comentarios

Anexo 22.

Ensayo de resistencia a compresión a los 7 días de curado por cámara húmeda, de Base Granular-cemento con compactación bajo esfuerzos de prensa. Muestra 2.

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	_20230505_1230.xtux	Nombre de metodo de ensayo	
Fecha de informe	5/5/2023	Fecha de ensayo	5/5/2023
Modo de Ensayo	Concrete	Tipo de ensayo	Compresion
Velocidad	2,5kgf/cm2/sec	Forma	Cylinder
Nº de partidas:	1	Nº de muestras:	1

Nombre Parametros	Max_Fuerza Calc. at Entire Areas	Max_Tension Calc. at Entire Areas
Unidad	kgf	kgf/cm2
1_1	618	7,71
Media	618	7,71
Desviacion Estandar	-.-	-.-
Rango	0,00000	0,00000



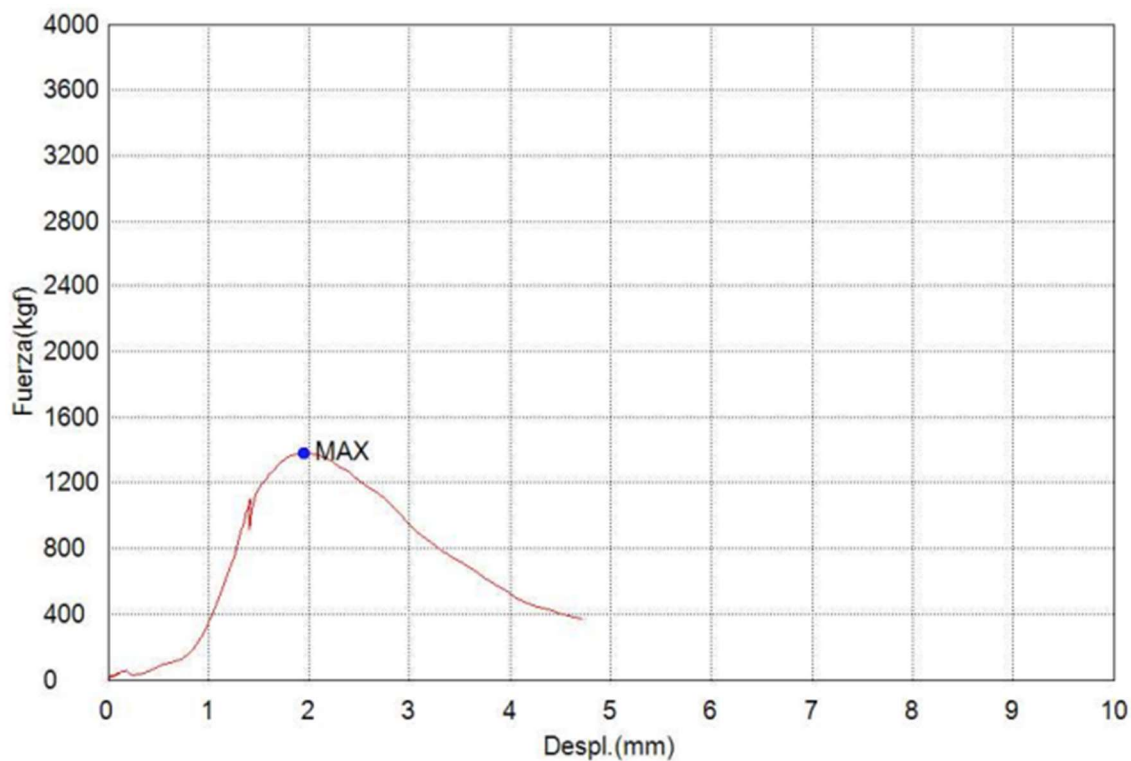
Comentarios

Anexo 23.

Ensayo de resistencia a compresión a los 14 días de curado por cámara húmeda, de Base Granular-cemento con compactación bajo esfuerzos de prensa. Muestra 1.

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	_20230512_1054.xtux	Nombre de metodo de ensayo	
Fecha de informe	12/5/2023	Fecha de ensayo	12/5/2023
Modo de Ensayo	Concrete	Tipo de ensayo	Compresion
Velocidad	2,5kgf/cm2/sec	Forma	Cylinder
N°de partidas:	1	N°de muestras:	1

Nombre Parametros	Max._Fuerza Calc. at Entire Areas	Max._Tension Calc. at Entire Areas
Unidad	kgf	kgf/cm2
1_1	1380	17,2
Media	1380	17,2
Desviacion Estandar	--	--
Rango	0,00000	0,00000



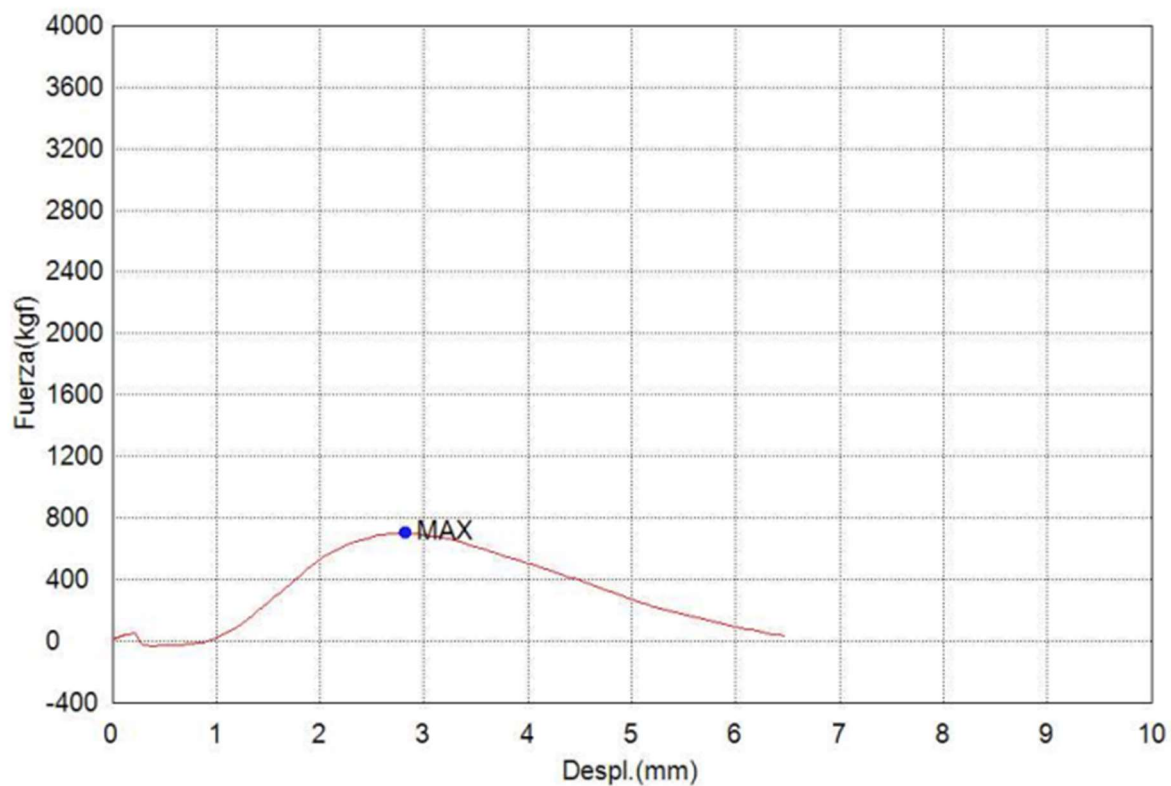
Comentarios

Anexo 24.

Ensayo de resistencia a compresión a los 14 días de curado por cámara húmeda, de Base Granular-cemento con compactación bajo esfuerzos de prensa. Muestra 2.

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	_20230512_1100.xtux	Nombre de metodo de ensayo	
Fecha de informe	12/5/2023	Fecha de ensayo	12/5/2023
Modo de Ensayo	Concrete	Tipo de ensayo	Compresion
Velocidad	2,5kgf/cm2/sec	Forma	Cylinder
Nº de partidas:	1	Nº de muestras:	1

Nombre Parametros	Max._Fuerza Calc. at Entire Areas	Max._Tension Calc. at Entire Areas
Unidad	kgf	kgf/cm2
1_1	698	8,71
Media	698	8,71
Desviacion Estandar	--	--
Rango	0,00000	0,00000



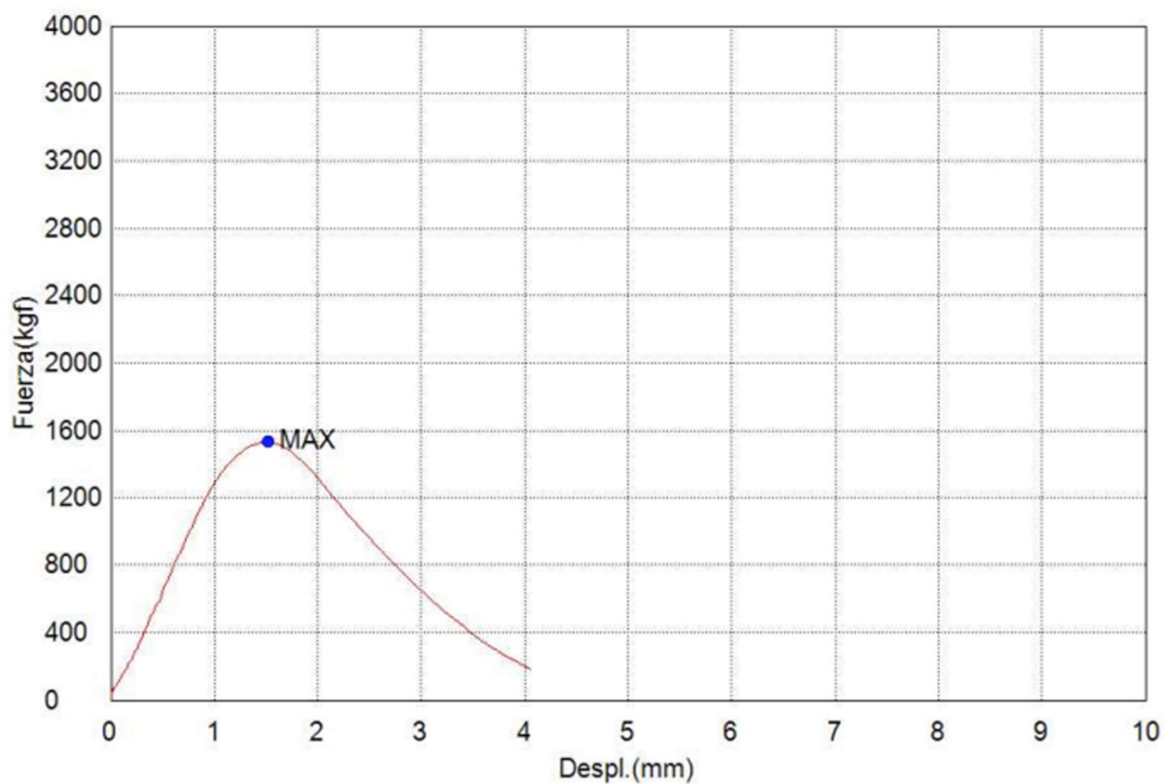
Comentarios

Anexo 25.

Ensayo de resistencia a compresión a los 28 días de curado por cámara húmeda, de Base Granular granular-cemento con compactación bajo esfuerzos de prensa. Muestra 1.

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	_20230525_1121.xtux	Nombre de metodo de ensayo	
Fecha de informe	25/5/2023	Fecha de ensayo	25/5/2023
Modo de Ensayo	Concrete	Tipo de ensayo	Compresion
Velocidad	2,5kgf/cm2/sec	Forma	Cylinder
Nº de partidas:	1	Nº de muestras:	1

Nombre Parametros	Max._Fuerza Calc. at Entire Areas	Max._Tension Calc. at Entire Areas
Unidad	kgf	kgf/cm2
1_1	1530	19,1
Media	1530	19,1
Desviacion Estandar	--	--
Rango	0,00000	0,00000



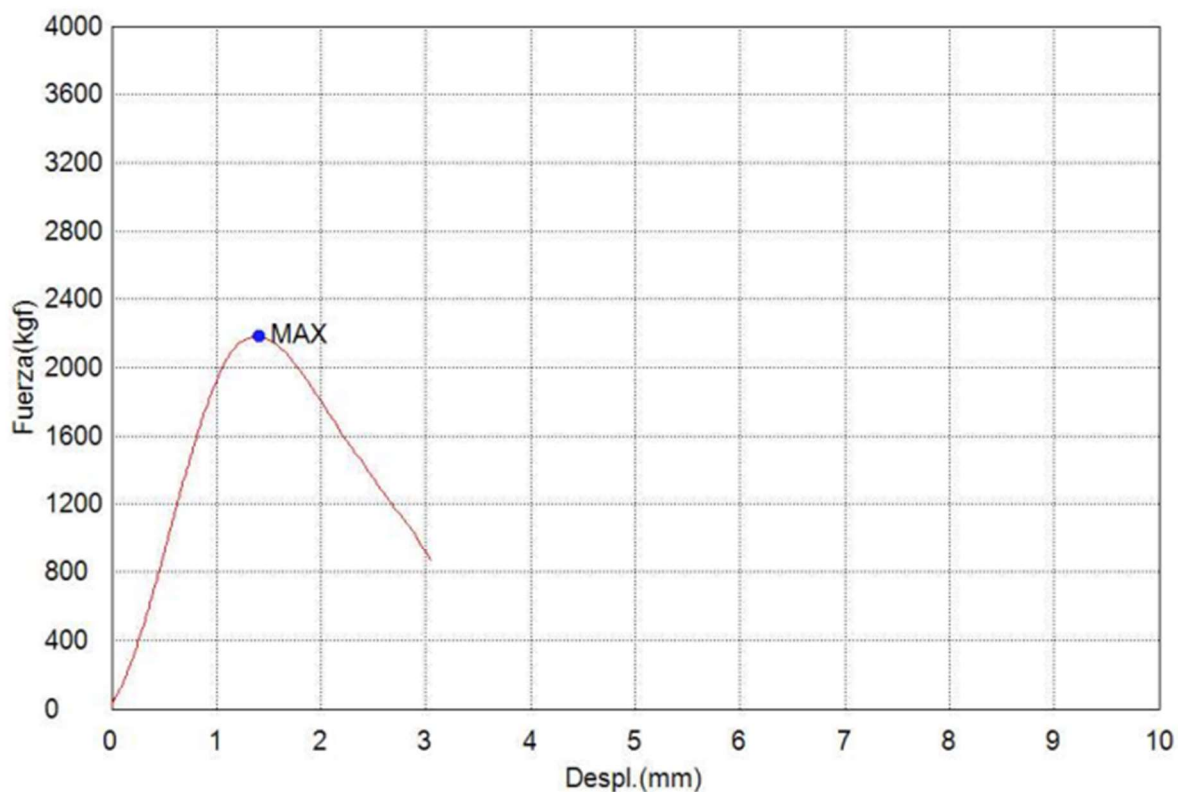
Comentarios

Anexo 26.

Ensayo de resistencia a compresión a los 28 días de curado por cámara húmeda, de Base Granular granular-cemento con compactación bajo esfuerzos de prensa. Muestra 2.

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	_20230525_1117.xtux	Nombre de metodo de ensayo	
Fecha de informe	25/5/2023	Fecha de ensayo	25/5/2023
Modo de Ensayo	Concrete	Tipo de ensayo	Compresion
Velocidad	2,5kgf/cm2/sec	Forma	Cylinder
Nºde partidas:	1	Nºde muestras:	1

Nombre Parametros	Max._Fuerza Calc. at Entire Areas	Max._Tension Calc. at Entire Areas
Unidad	kgf	kgf/cm2
1_1	2180	27,2
Media	2180	27,2
Desviacion Estandar	--	--
Rango	0,00000	0,00000



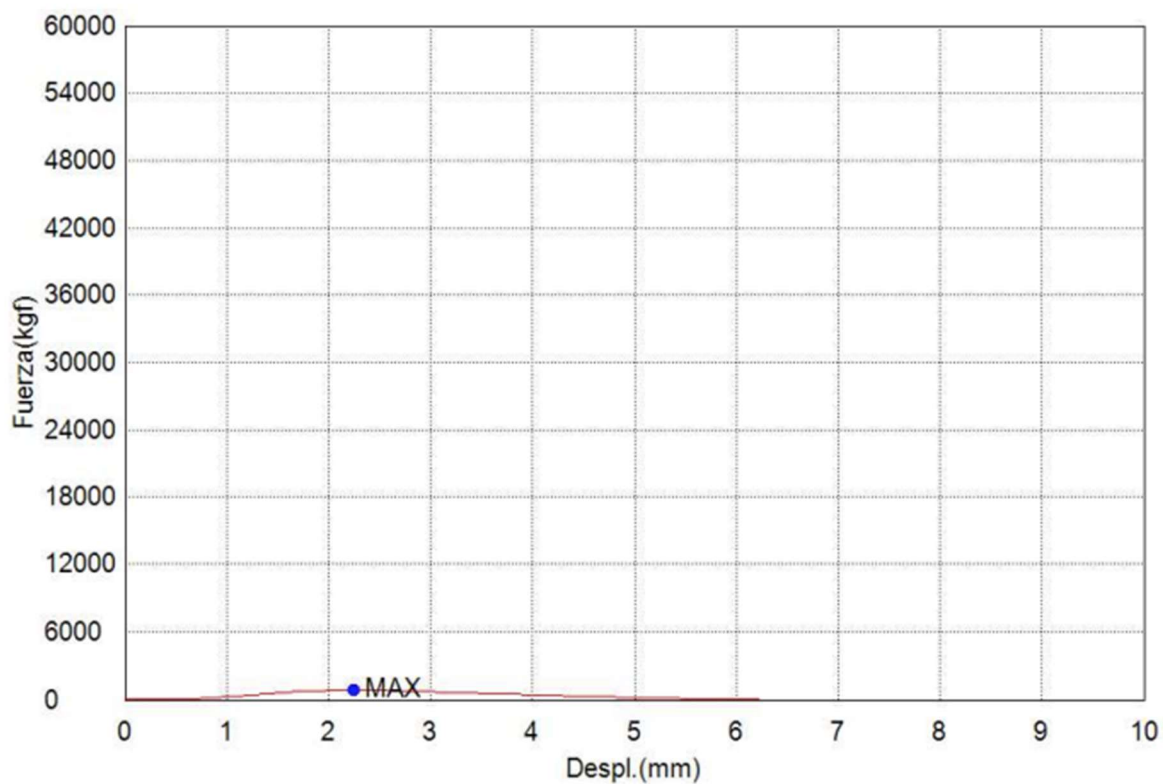
Comentarios

Anexo 27.

Ensayo de resistencia a compresión a los 7 días de curado por capilaridad, de Base Granular granular-cemento con compactación bajo esfuerzos de prensa. Muestra 1.

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	_20230505_1206.xtux	Nombre de metodo de ensayo	
Fecha de informe	5/5/2023	Fecha de ensayo	5/5/2023
Modo de Ensayo	Concrete	Tipo de ensayo	Compresion
Velocidad	2,5kgf/cm2/sec	Forma	Cylinder
Nº de partidas:	1	Nº de muestras:	1

Nombre Parametros	Max_Fuerza Calc. at Entire Areas	Max_Tension Calc. at Entire Areas
Unidad	kgf	kgf/cm2
1_1	844	10,5
Media	844	10,5
Desviacion Estandar	--	--
Rango	0,00000	0,00000



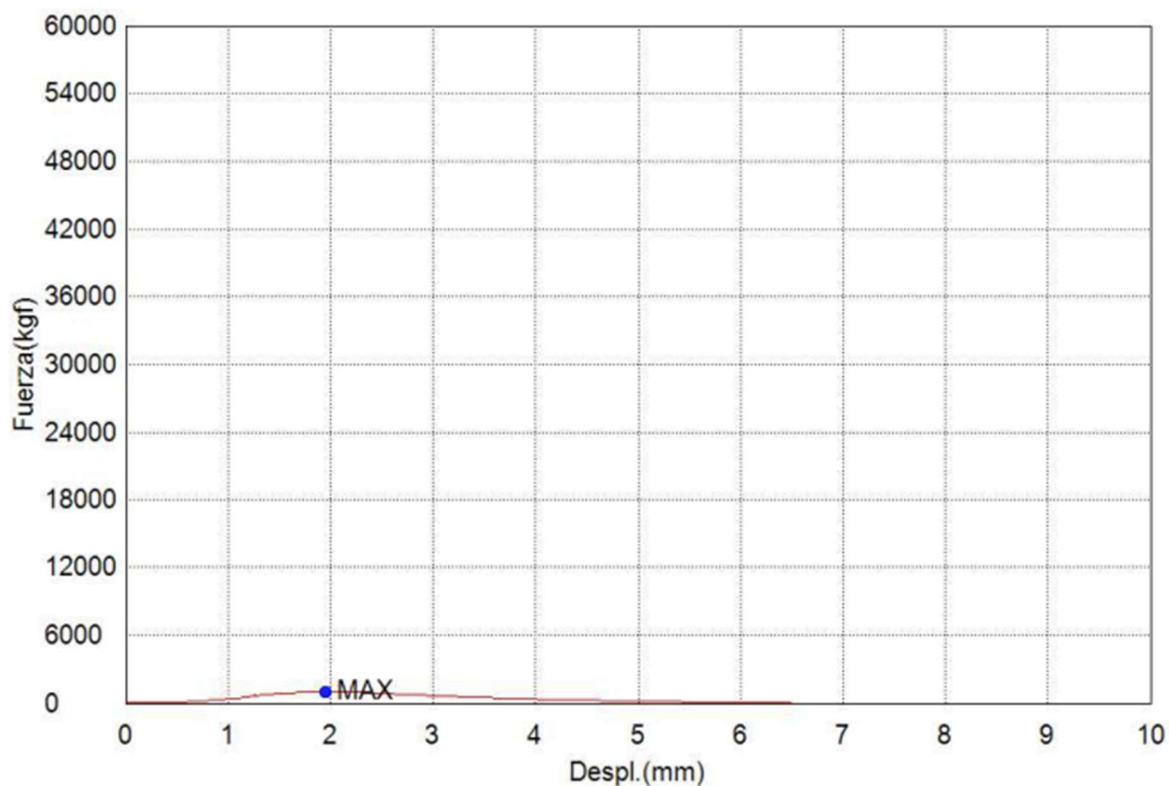
Comentarios

Anexo 28.

Ensayo de resistencia a compresión a los 7 días de curado por capilaridad, de Base Granular granular-cemento con compactación bajo esfuerzos de prensa. Muestra 2.

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	_20230505_1211.xtux	Nombre de metodo de ensayo	
Fecha de informe	5/5/2023	Fecha de ensayo	5/5/2023
Modo de Ensayo	Concrete	Tipo de ensayo	Compresion
Velocidad	2,5kgf/cm2/sec	Forma	Cylinder
Nºde partidas:	1	Nºde muestras:	1

Nombre Parametros	Max. Fuerza Calc. at Entire Areas	Max. Tension Calc. at Entire Areas
Unidad	kgf	kgf/cm2
1_1	996	12,4
Media	996	12,4
Desviacion Estandar	--	--
Rango	0,00000	0,00000



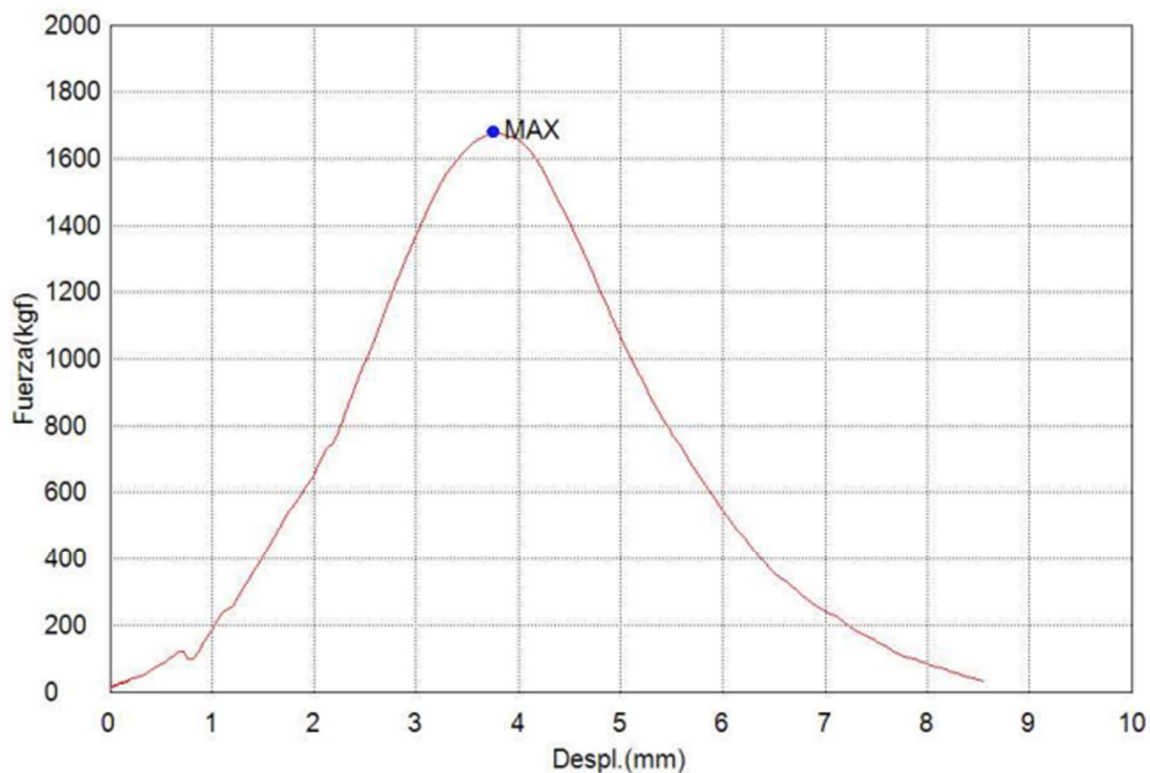
Comentarios

Anexo 29.

Ensayo de resistencia a compresión a los 14 días de curado por capilaridad, de Base Granular granular-cemento con compactación bajo esfuerzos de prensa. Muestra 1.

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	_20230512_1044.xtux	Nombre de metodo de ensayo	
Fecha de informe	12/5/2023	Fecha de ensayo	12/5/2023
Modo de Ensayo	Concrete	Tipo de ensayo	Compresion
Velocidad	2,5kgf/cm2/sec	Forma	Cylinder
Nº de partidas:	1	Nº de muestras:	1

Nombre Parametros	Max._Fuerza Calc. at Entire Areas	Max._Tension Calc. at Entire Areas
Unidad	kgf	kgf/cm2
1_1	1680	21
Media	1680	21
Desviacion Estandar	--	--
Rango	0,00000	0,00000



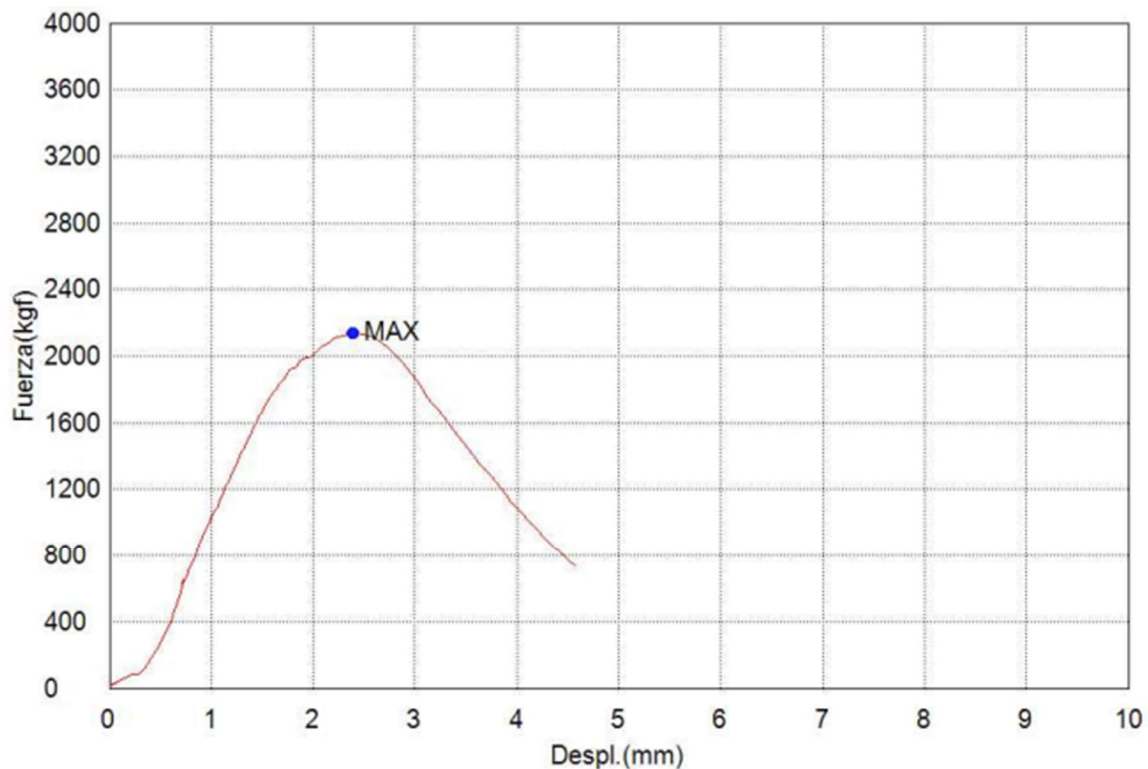
Comentarios

Anexo 30.

Ensayo de resistencia a compresión a los 14 días de curado por capilaridad, de Base Granular granular-cemento con compactación bajo esfuerzos de prensa. Muestra 2.

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	_20230512_1050.xtux	Nombre de metodo de ensayo	
Fecha de informe	12/5/2023	Fecha de ensayo	12/5/2023
Modo de Ensayo	Concrete	Tipo de ensayo	Compresion
Velocidad	2,5kgf/cm2/sec	Forma	Cylinder
Nº de partidas:	1	Nº de muestras:	1

Nombre Parametros	Max._Fuerza Calc. at Entire Areas	Max._Tension Calc. at Entire Areas
Unidad	kgf	kgf/cm2
1_1	2140	26,7
Media	2140	26,7
Desviacion Estandar	--	--
Rango	0,00000	0,00000



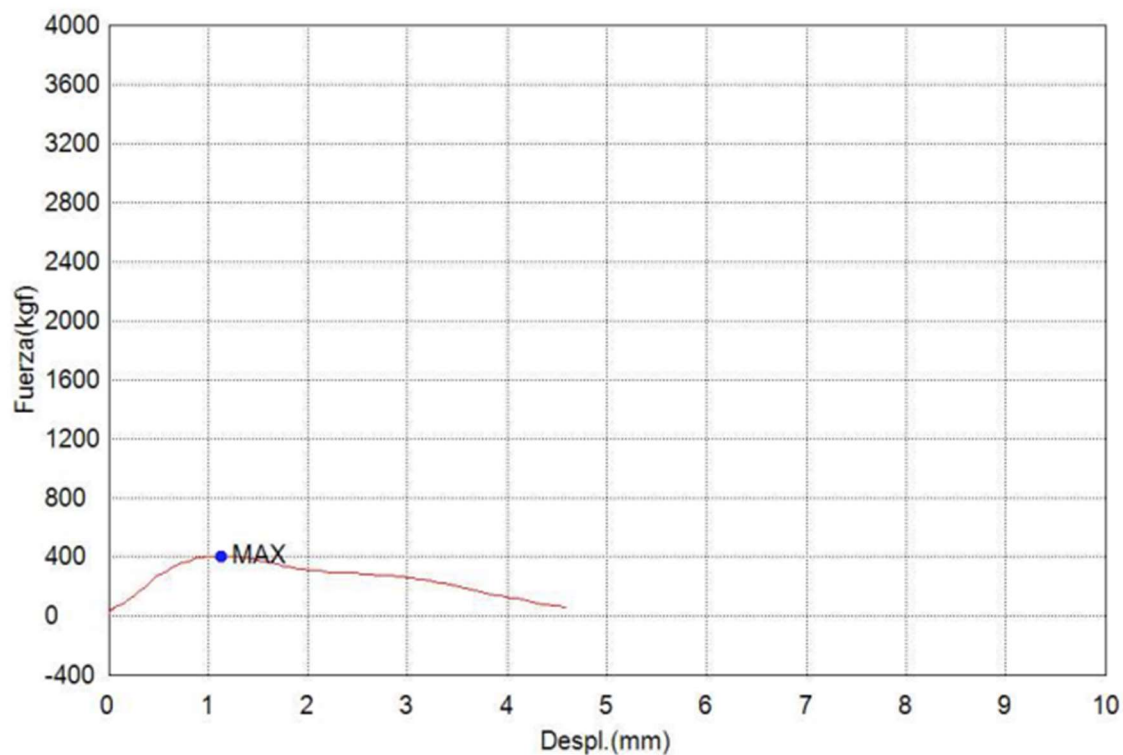
Comentarios

Anexo 31.

Ensayo de resistencia a compresión a los 28 días de curado por capilaridad, de Base Granular granular-cemento con compactación bajo esfuerzos de prensa. Muestra 1.

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	_20230525_1126.xtux	Nombre de metodo de ensayo	
Fecha de informe	25/5/2023	Fecha de ensayo	25/5/2023
Modo de Ensayo	Concrete	Tipo de ensayo	Compresion
Velocidad	2,5kgf/cm2/sec	Forma	Cylinder
Nº de partidas:	1	Nº de muestras:	1

Nombre Parametros	Max._Fuerza Calc. at Entire Areas	Max._Tension Calc. at Entire Areas
Unidad	kgf	kgf/cm2
1_1	399	4,98
Media	399	4,98
Desviacion Estandar	--	--
Rango	0,00000	0,00000



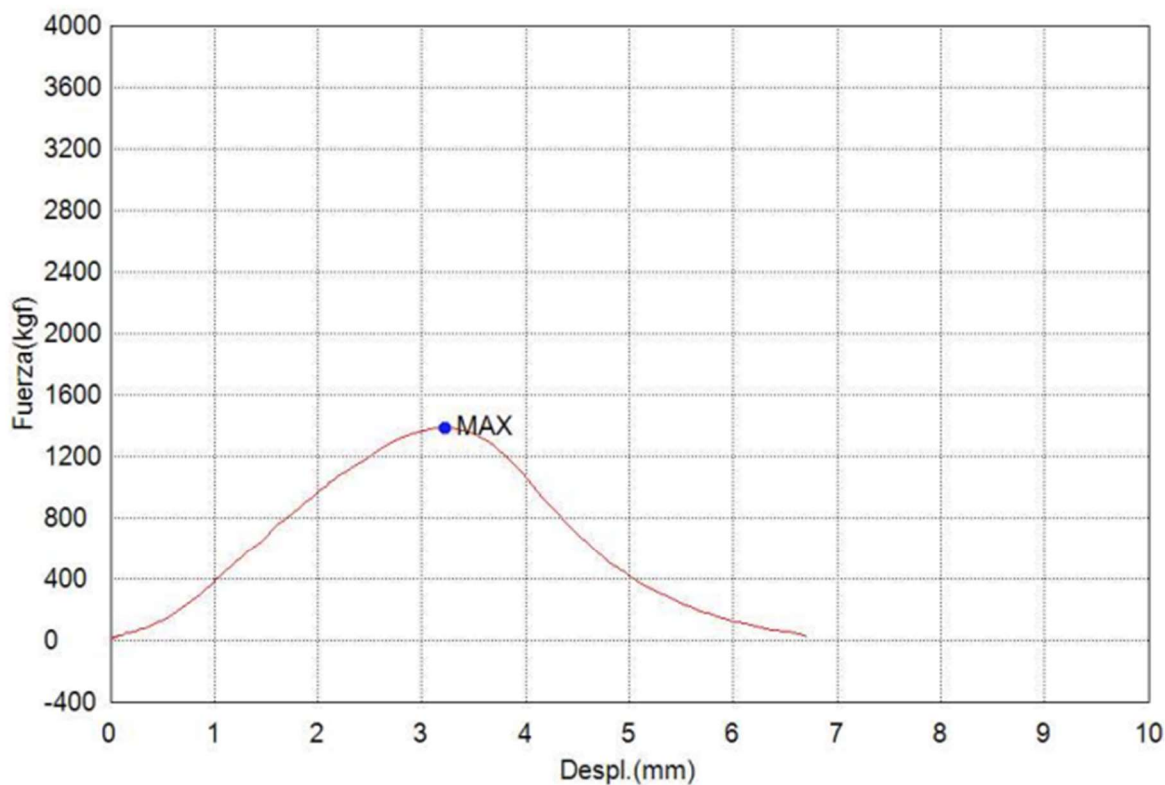
Comentarios

Anexo 32.

Ensayo de resistencia a compresión a los 28 días de curado por capilaridad, de Base Granular granular-cemento con compactación bajo esfuerzos de prensa. Muestra 2.

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	_20230525_1134.xtux	Nombre de metodo de ensayo	
Fecha de informe	25/5/2023	Fecha de ensayo	25/5/2023
Modo de Ensayo	Concrete	Tipo de ensayo	Compresion
Velocidad	2,5kgf/cm2/sec	Forma	Cylinder
Nºde partidas:	1	Nºde muestras:	1

Nombre Parametros	Max._Fuerza Calc. at Entire Areas	Max._Tension Calc. at Entire Areas
Unidad	kgf	kgf/cm2
1_1	1380	17,2
Media	1380	17,2
Desviacion Estandar	.-	.-
Rango	0,00000	0,00000



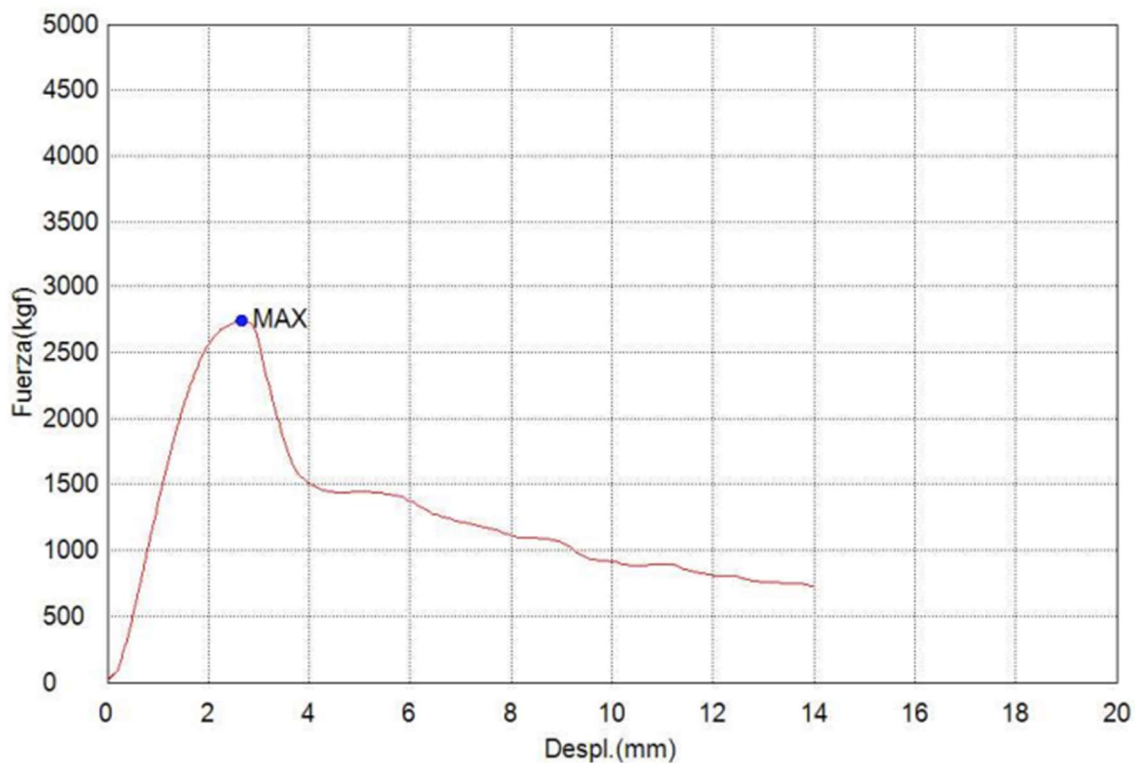
Comentarios

Anexo 33.

Ensayo de resistencia a compresión a los 7 días de curado por cámara húmeda, de suelo natural-cemento con compactación por Proctor estándar. Muestra 1.

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	_20230524_1302.xtux	Nombre de metodo de ensayo	
Fecha de informe	24/5/2023	Fecha de ensayo	24/5/2023
Modo de Ensayo	Concrete	Tipo de ensayo	Compresion
Velocidad	2,5kgf/cm2/sec	Forma	Cylinder
Nºde partidas:	1	Nºde muestras:	1

Nombre Parametros	Max._Fuerza Calc. at Entire Areas	Max._Tension Calc. at Entire Areas
Unidad	kgf	kgf/cm2
1_1	2740	34,2
Media	2740	34,2
Desviacion Estandar	--	--
Rango	0,00000	0,00000



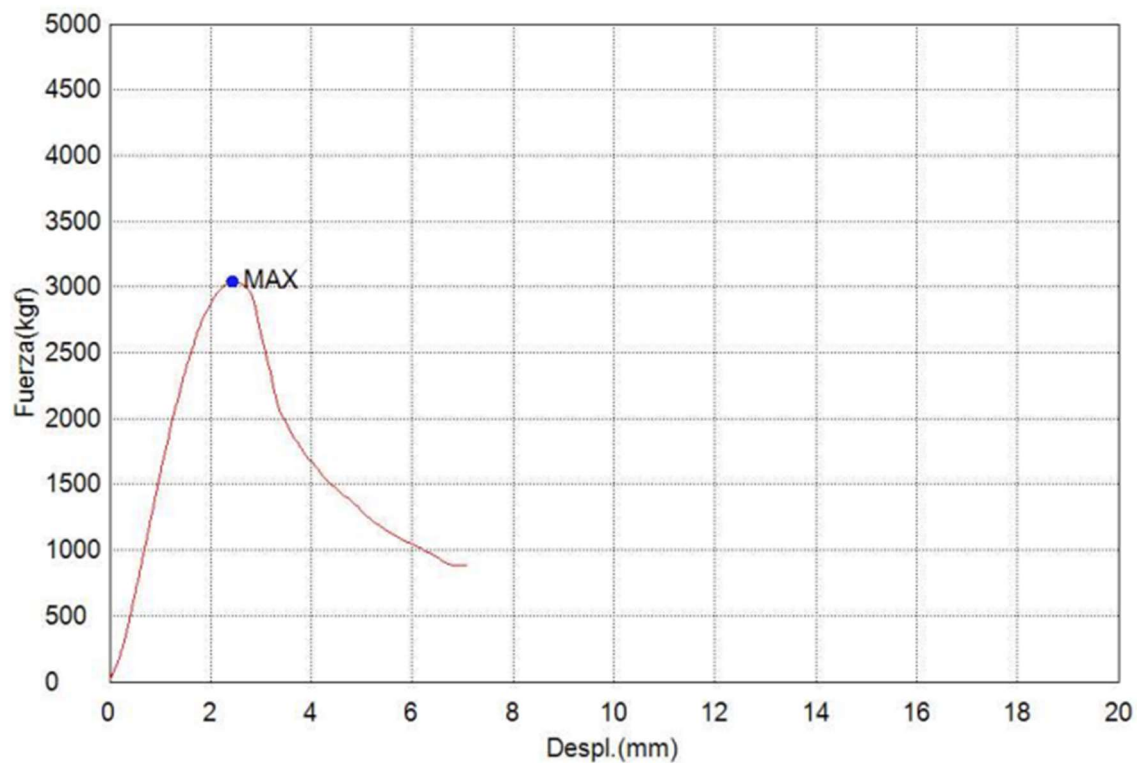
Comentarios

Anexo 34.

Ensayo de resistencia a compresión a los 7 días de curado por cámara húmeda, de suelo natural-cemento con compactación por Proctor estándar. Muestra 2.

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	_20230524_1305.xtux	Nombre de metodo de ensayo	
Fecha de informe	24/5/2023	Fecha de ensayo	24/5/2023
Modo de Ensayo	Concrete	Tipo de ensayo	Compresion
Velocidad	2,5kgf/cm2/sec	Forma	Cylinder
Nº de partidas:	1	Nº de muestras:	1

Nombre Parametros	Max_Fuerza Calc. at Entire Areas	Max_Tension Calc. at Entire Areas
Unidad	kgf	kgf/cm2
1_1	3040	37,9
Media	3040	37,9
Desviacion Estandar	--	--
Rango	0.00000	0.00000



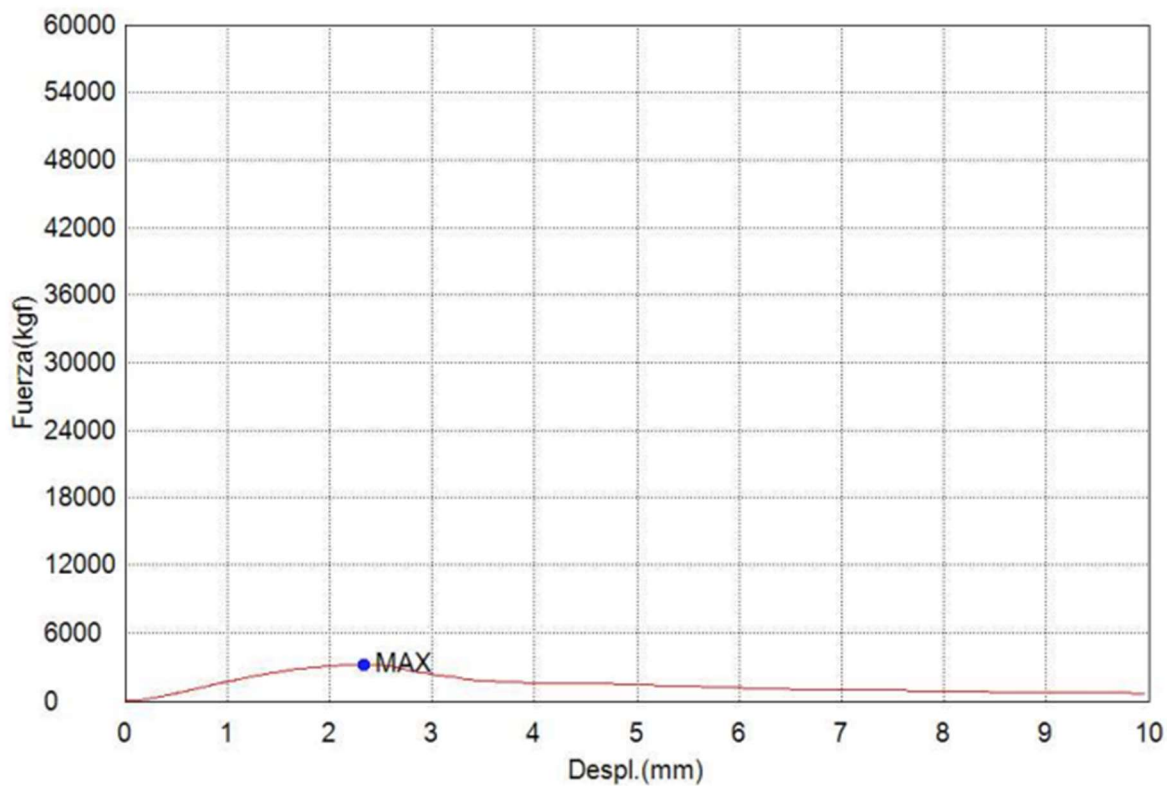
Comentarios

Anexo 35.

Ensayo de resistencia a compresión a los 14 días de curado por cámara húmeda, de suelo natural-cemento con compactación por Proctor estándar. Muestra 1.

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	_20230531_1126.xtux	Nombre de metodo de ensayo	
Fecha de informe	31/5/2023	Fecha de ensayo	31/5/2023
Modo de Ensayo	Concrete	Tipo de ensayo	Compresion
Velocidad	2,5kgf/cm2/sec	Forma	Cylinder
Nº de partidas:	1	Nº de muestras:	1

Nombre Parametros	Max._Fuerza Calc. at Entire Areas	Max._Tension Calc. at Entire Areas
Unidad	kgf	kgf/cm2
1_1	3200	39,9
Media	3200	39,9
Desviacion Estandar	--	--
Rango	0,00000	0,00000



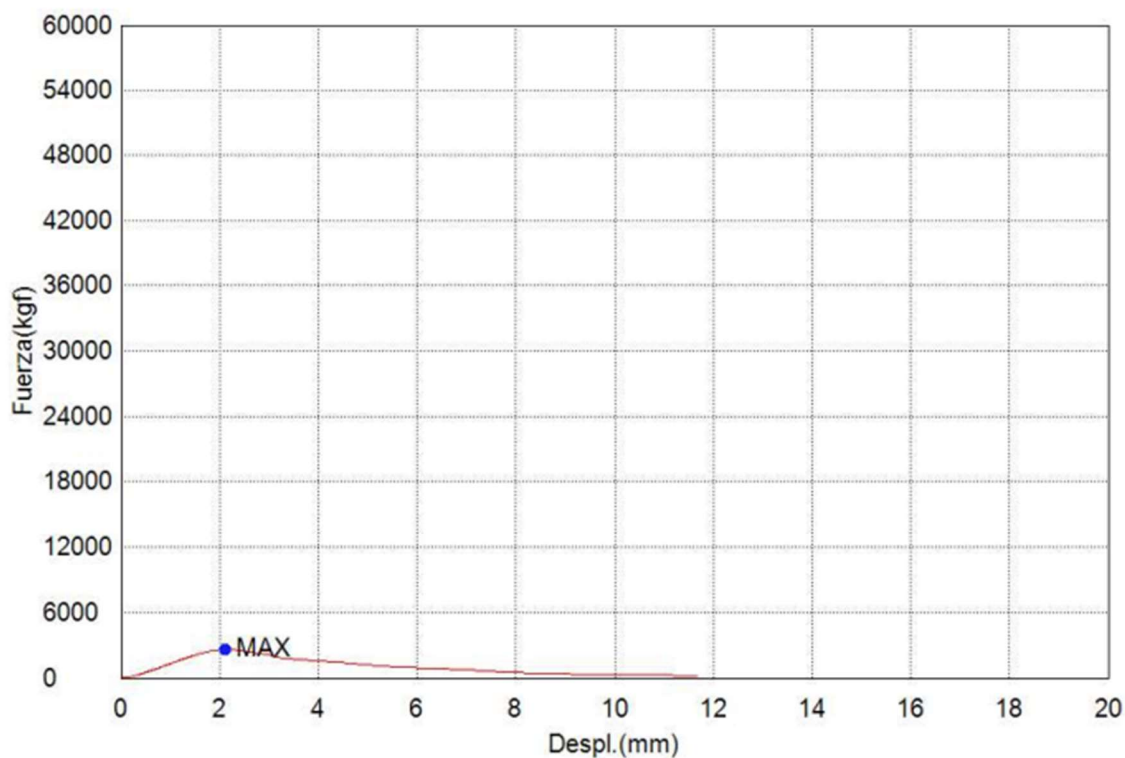
Comentarios

Anexo 36.

Ensayo de resistencia a compresión a los 14 días de curado por cámara húmeda, de suelo natural-cemento con compactación por Proctor estándar. Muestra 2.

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	_20230531_1132.xtux	Nombre de metodo de ensayo	
Fecha de informe	31/5/2023	Fecha de ensayo	31/5/2023
Modo de Ensayo	Concrete	Tipo de ensayo	Compresion
Velocidad	2,5kgf/cm2/sec	Forma	Cylinder
Nº de partidas:	1	Nº de muestras:	1

Nombre Parametros	Max._Fuerza Calc. at Entire Areas	Max._Tension Calc. at Entire Areas
Unidad	kgf	kgf/cm2
1_1	2600	32,5
Media	2600	32,5
Desviacion Estandar	--	--
Rango	0,00000	0,00000



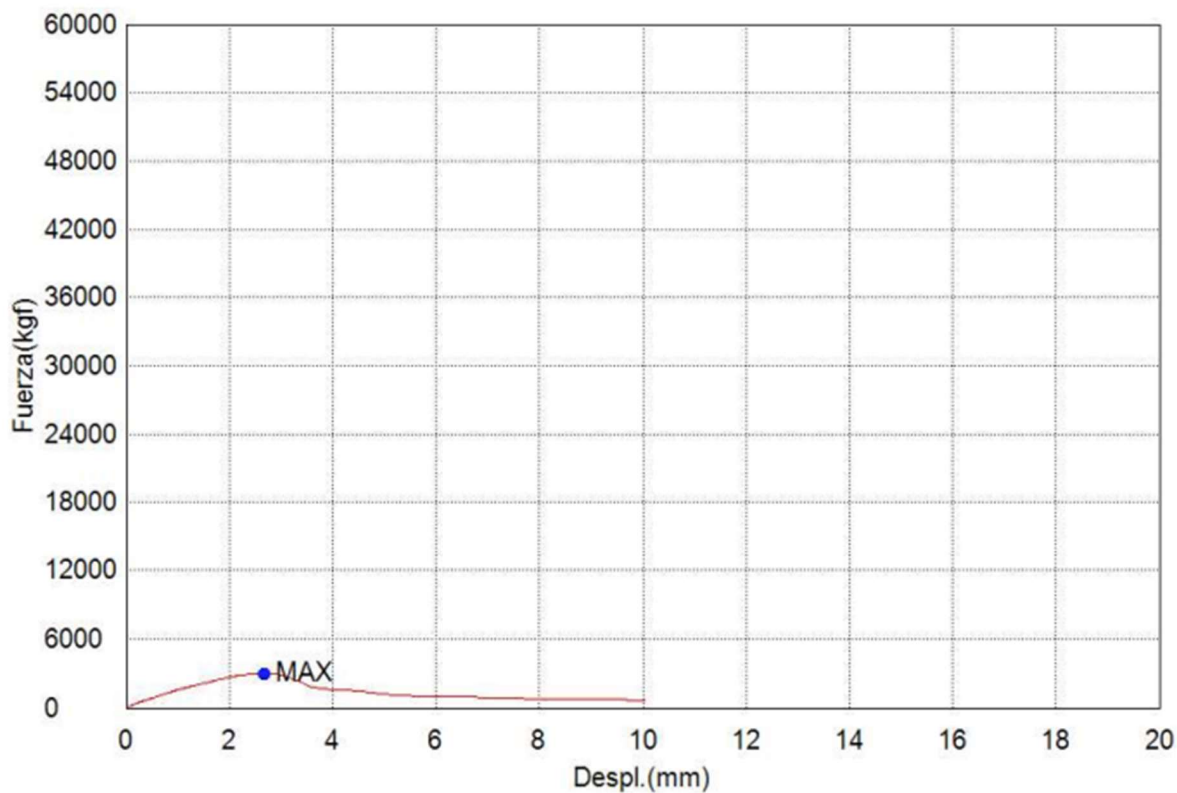
Comentarios

Anexo 37.

Ensayo de resistencia a compresión a los 28 días de curado por cámara húmeda, de suelo natural-cemento con compactación por Proctor estándar. Muestra 1.

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	_20230614_1217.xtux	Nombre de metodo de ensayo	
Fecha de informe	14/6/2023	Fecha de ensayo	14/6/2023
Modo de Ensayo	Concrete	Tipo de ensayo	Compresion
Velocidad	2,5kgf/cm2/sec	Forma	Cylinder
Nºde partidas:	1	Nºde muestras:	1

Nombre Parametros	Max._Fuerza Calc. at Entire Areas	Max._Tension Calc. at Entire Areas
Unidad	kgf	kgf/cm2
1_1	3000	37,4
Media	3000	37,4
Desviacion Estandar	--	--
Rango	0,00000	0,00000



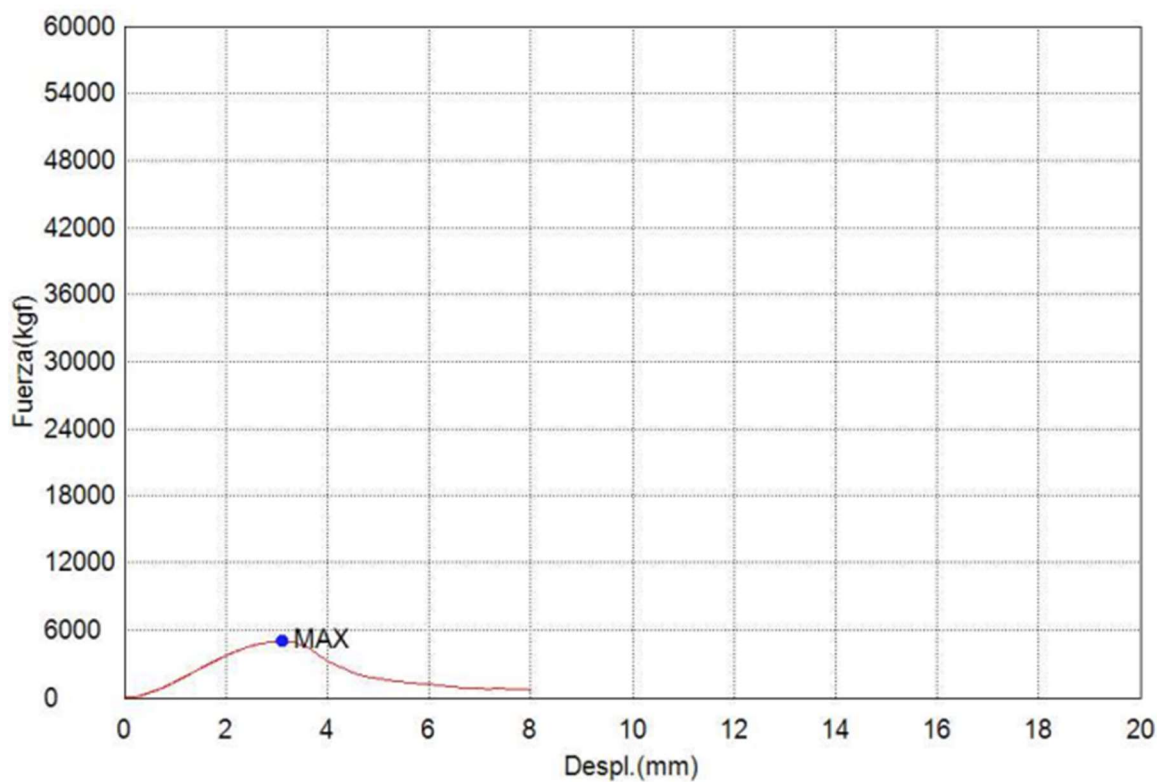
Comentarios

Anexo 38.

Ensayo de resistencia a compresión a los 28 días de curado por cámara húmeda, de suelo natural-cemento con compactación por Proctor estándar. Muestra 2.

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	_20230614_1222.xtux	Nombre de metodo de ensayo	
Fecha de informe	14/6/2023	Fecha de ensayo	14/6/2023
Modo de Ensayo	Concrete	Tipo de ensayo	Compresion
Velocidad	2,5kgf/cm2/sec	Forma	Cylinder
Nº de partidas:	1	Nº de muestras:	1

Nombre Parametros	Max._Fuerza Calc. at Entire Areas	Max._Tension Calc. at Entire Areas
Unidad	kgf	kgf/cm2
1_1	5000	62,4
Media	5000	62,4
Desviacion Estandar	--	--
Rango	0,00000	0,00000



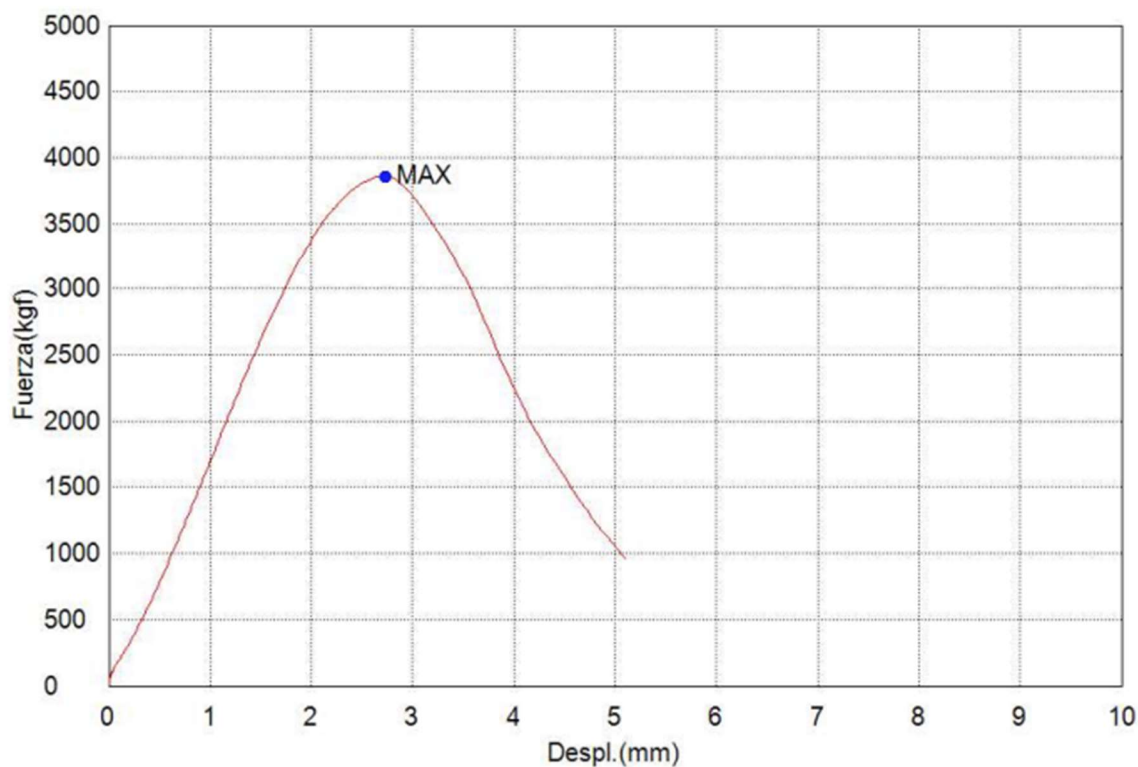
Comentarios

Anexo 39.

Ensayo de resistencia a compresión a los 7 días de curado por capilaridad, de suelo natural-cemento con compactación por Proctor estándar. Muestra 1.

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	_20230524_1254.xtux	Nombre de metodo de ensayo	
Fecha de informe	24/5/2023	Fecha de ensayo	24/5/2023
Modo de Ensayo	Concrete	Tipo de ensayo	Compresion
Velocidad	2,5kgf/cm2/sec	Forma	Cylinder
Nº de partidas:	1	Nº de muestras:	1

Nombre Parametros	Max._Fuerza Calc. at Entire Areas	Max._Tension Calc. at Entire Areas
Unidad	kgf	kgf/cm2
1_1	3860	48,2
Media	3860	48,2
Desviacion Estandar	--	--
Rango	0,00000	0,00000



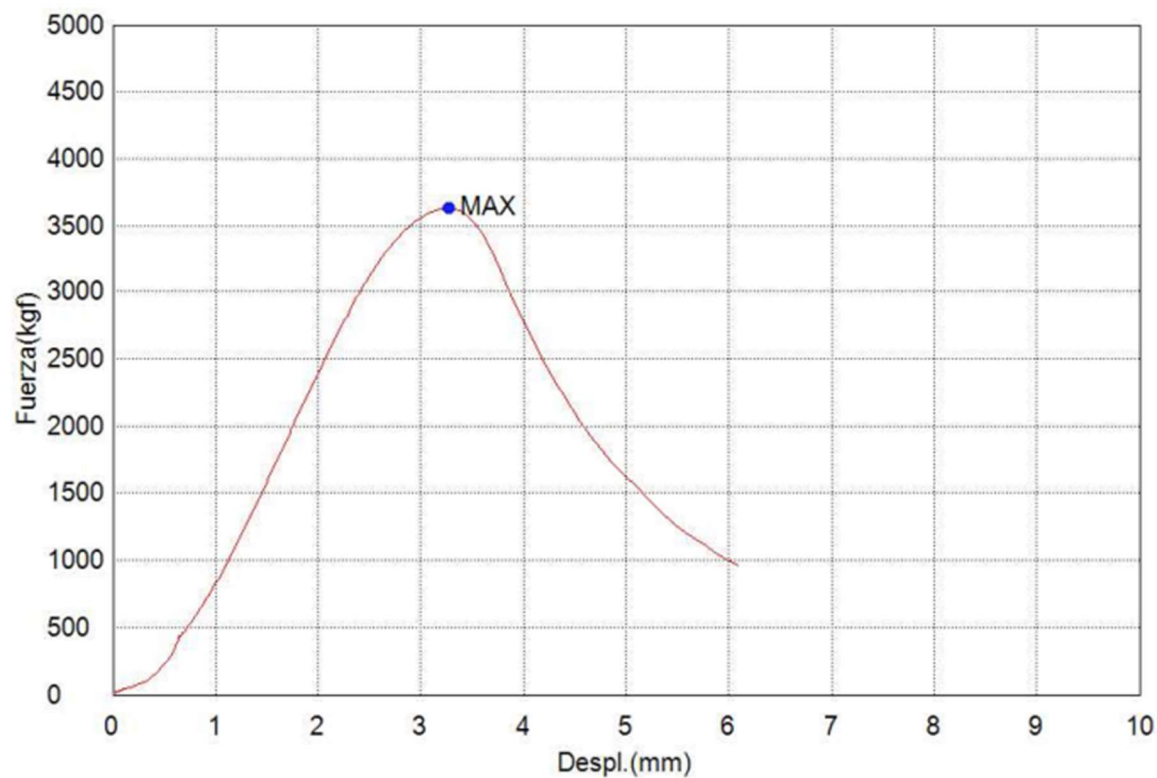
Comentarios

Anexo 40.

Ensayo de resistencia a compresión a los 7 días de curado por capilaridad, de suelo natural-cemento con compactación por Proctor estándar. Muestra 2.

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	_20230524_1258.xtux	Nombre de metodo de ensayo	
Fecha de informe	24/5/2023	Fecha de ensayo	24/5/2023
Modo de Ensayo	Concrete	Tipo de ensayo	Compresion
Velocidad	2,5kgf/cm2/sec	Forma	Cylinder
Nº de partidas:	1	Nº de muestras:	1

Nombre Parametros	Max._Fuerza Calc. at Entire Areas	Max._Tension Calc. at Entire Areas
Unidad	kgf	kgf/cm2
1_1	3630	45,3
Media	3630	45,3
Desviacion Estandar	--	--
Rango	0,00000	0,00000



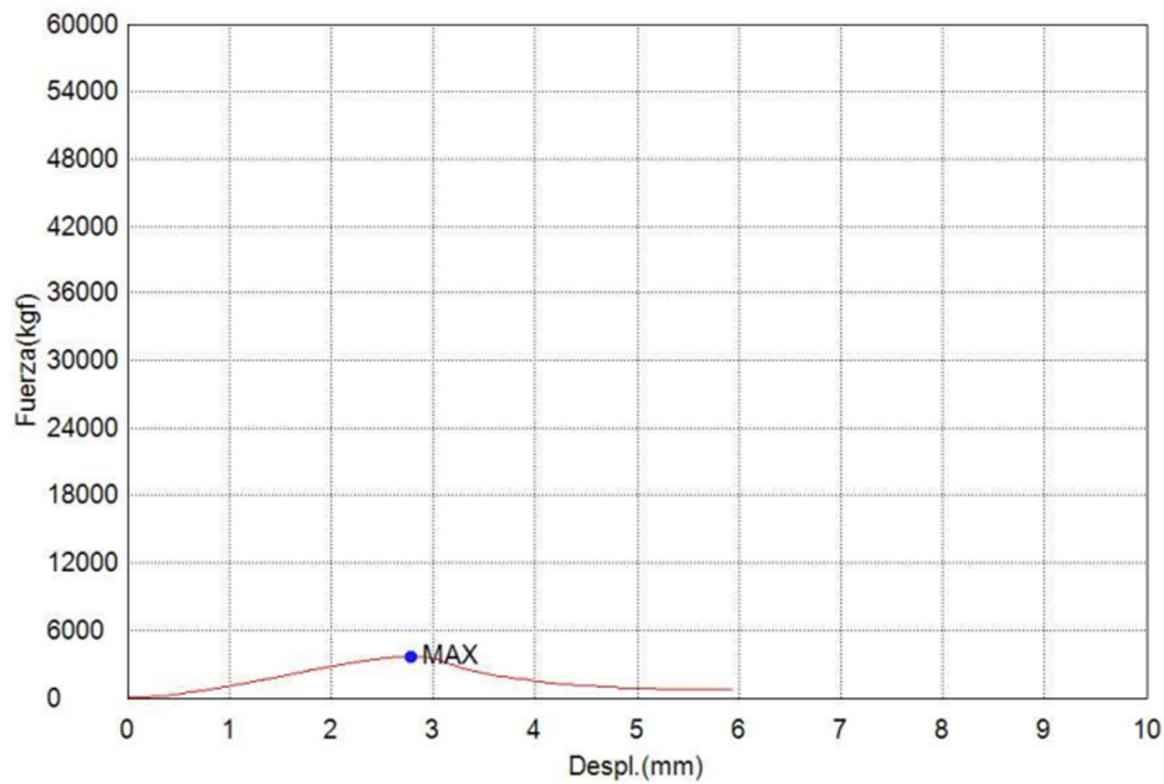
Comentarios

Anexo 41.

Ensayo de resistencia a compresión a los 14 días de curado por capilaridad, de suelo natural-cemento con compactación por Proctor estándar. Muestra 1.

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	_20230531_1122.xtux	Nombre de metodo de ensayo	
Fecha de informe	31/5/2023	Fecha de ensayo	31/5/2023
Modo de Ensayo	Concrete	Tipo de ensayo	Compresion
Velocidad	2,5kgf/cm2/sec	Forma	Cylinder
N°de partidas:	1	N°de muestras:	1

Nombre Parametros	Max._Fuerza Calc. at Entire Areas	Max._Tension Calc. at Entire Areas
Unidad	kgf	kgf/cm2
1_1	3660	45,7
Media	3660	45,7
Desviacion Estandar	--	--
Rango	0,00000	0,00000



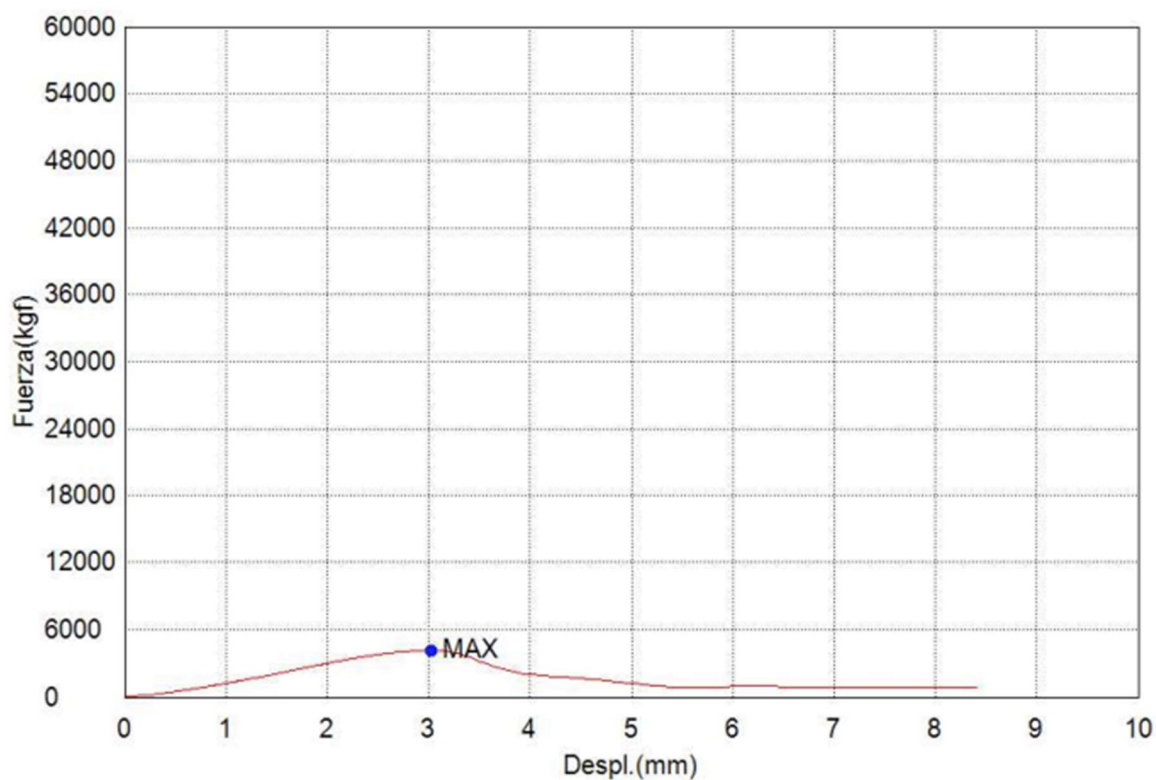
Comentarios

Anexo 42.

Ensayo de resistencia a compresión a los 14 días de curado por capilaridad, de suelo natural-cemento con compactación por Proctor estándar. Muestra 2.

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	_20230531_1116.xtux	Nombre de metodo de ensayo	
Fecha de informe	31/5/2023	Fecha de ensayo	31/5/2023
Modo de Ensayo	Concrete	Tipo de ensayo	Compresion
Velocidad	2,5kgf/cm2/sec	Forma	Cylinder
Nº de partidas:	1	Nº de muestras:	1

Nombre Parametros	Max._Fuerza Calc. at Entire Areas	Max._Tension Calc. at Entire Areas
Unidad	kgf	kgf/cm2
1_1	4130	51,5
Media	4130	51,5
Desviacion Estandar	--	--
Rango	0,00000	0,00000



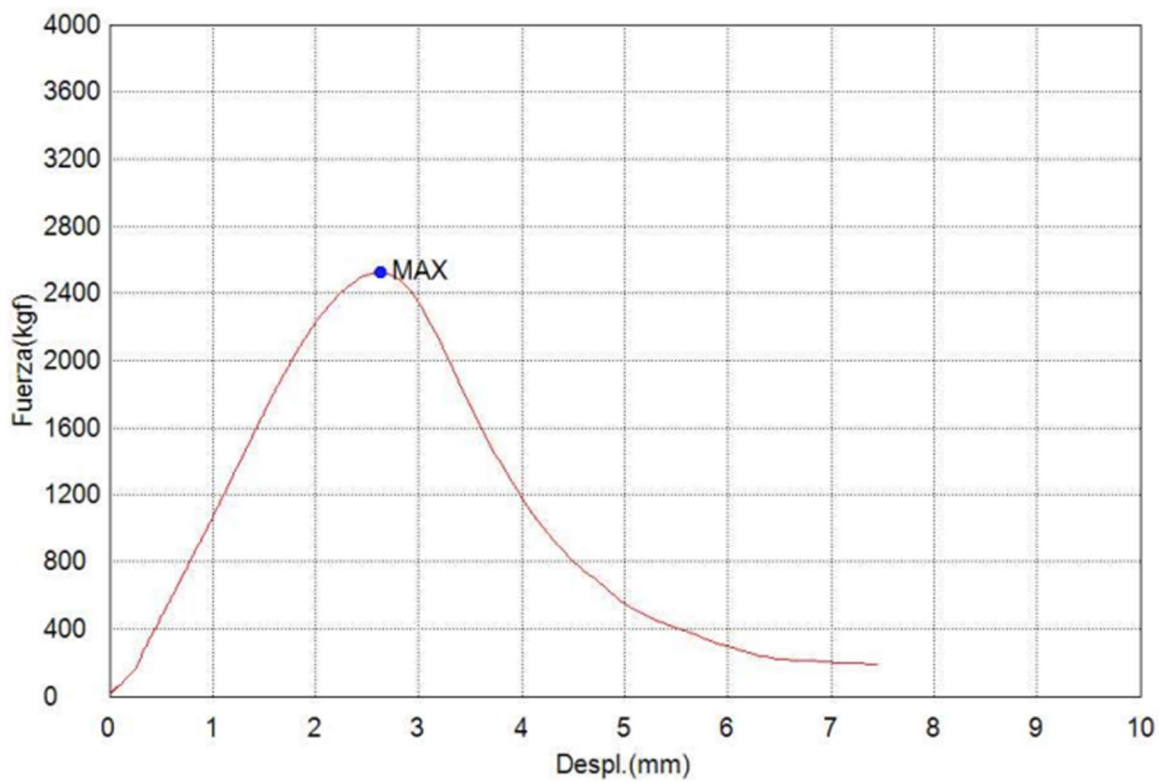
Comentarios

Anexo 43.

Ensayo de resistencia a compresión a los 7 días de curado por cámara húmeda, de suelo natural-cemento con compactación por esfuerzos de prensa. Muestra 1.

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	_20230525_1113.xtux	Nombre de metodo de ensayo	
Fecha de informe	25/5/2023	Fecha de ensayo	25/5/2023
Modo de Ensayo	Concrete	Tipo de ensayo	Compresion
Velocidad	2,5kgf/cm2/sec	Forma	Cylinder
Nº de partidas:	1	Nº de muestras:	1

Nombre Parametros	Max_Fuerza Calc. at Entire Areas	Max_Tension Calc. at Entire Areas
Unidad	kgf	kgf/cm2
1_1	2520	31,5
Media	2520	31,5
Desviacion Estandar	--	--
Rango	0,00000	0,00000



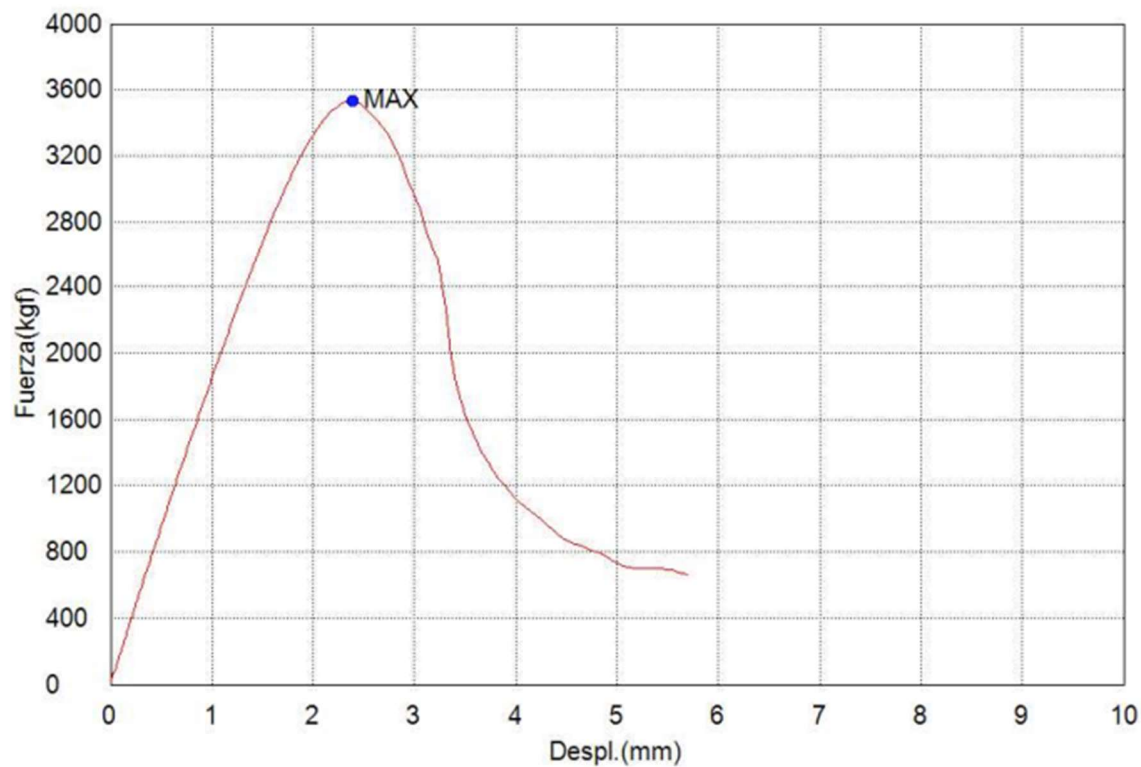
Comentarios

Anexo 44.

Ensayo de resistencia a compresión a los 7 días de curado por cámara húmeda, de suelo natural-cemento con compactación por esfuerzos de prensa. Muestra 2.

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	_20230525_1109.xtux	Nombre de metodo de ensayo	
Fecha de informe	25/5/2023	Fecha de ensayo	25/5/2023
Modo de Ensayo	Concrete	Tipo de ensayo	Compresion
Velocidad	2,5kgf/cm2/sec	Forma	Cylinder
Nºde partidas:	1	Nºde muestras:	1

Nombre Parametros	Max._Fuerza Calc. at Entire Areas	Max._Tension Calc. at Entire Areas
Unidad	kgf	kgf/cm2
1_1	3530	44,1
Media	3530	44,1
Desviacion Estandar	--	--
Rango	0,00000	0,00000



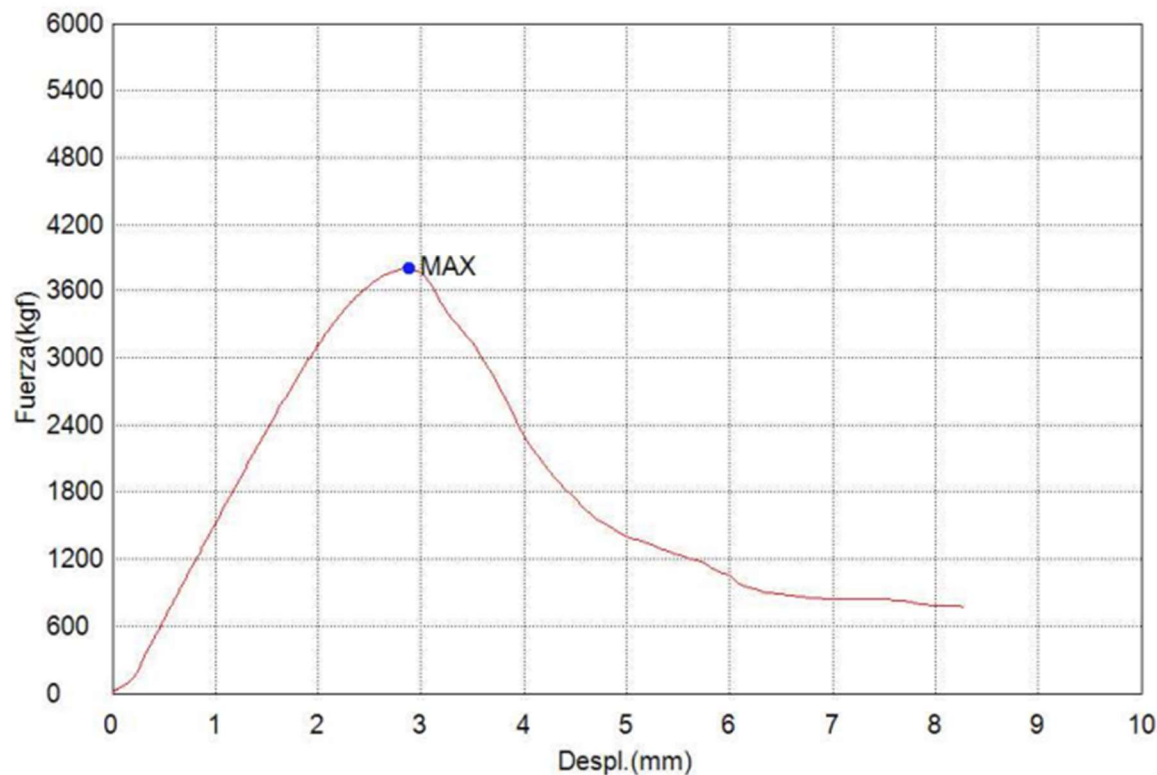
Comentarios

Anexo 45.

Ensayo de resistencia a compresión a los 14 días de curado por cámara húmeda, de suelo natural-cemento con compactación por esfuerzos de prensa. Muestra 1.

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	_20230601_1208.xtux	Nombre de metodo de ensayo	
Fecha de informe	1/6/2023	Fecha de ensayo	1/6/2023
Modo de Ensayo	Concrete	Tipo de ensayo	Compresion
Velocidad	2,5kgf/cm2/sec	Forma	Cylinder
Nº de partidas:	1	Nº de muestras:	1

Nombre Parametros	Max_Fuerza Calc. at Entire Areas	Max_Tension Calc. at Entire Areas
Unidad	kgf	kgf/cm2
1_1	3800	47,4
Media	3800	47,4
Desviacion Estandar	--	--
Rango	0,00000	0,00000



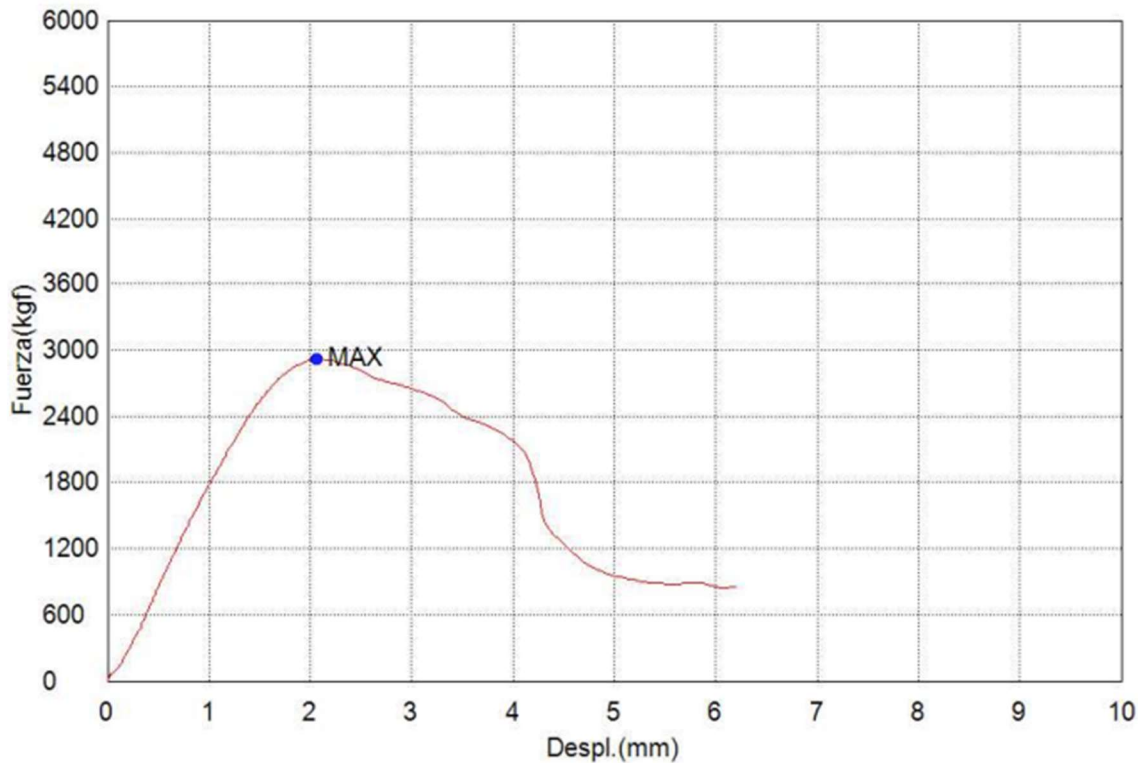
Comentarios

Anexo 46.

Ensayo de resistencia a compresión a los 14 días de curado por cámara húmeda, de suelo natural-cemento con compactación por esfuerzos de prensa. Muestra 2.

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	_20230601_1202.xtux	Nombre de metodo de ensayo	
Fecha de informe	1/6/2023	Fecha de ensayo	1/6/2023
Modo de Ensayo	Concrete	Tipo de ensayo	Compresion
Velocidad	2,5kgf/cm2/sec	Forma	Cylinder
Nº de partidas:	1	Nº de muestras:	1

Nombre Parametros	Max._Fuerza Calc. at Entire Areas	Max._Tension Calc. at Entire Areas
Unidad	kgf	kgf/cm2
1_1	2920	36,4
Media	2920	36,4
Desviacion Estandar	-.-	-.-
Rango	0,00000	0,00000



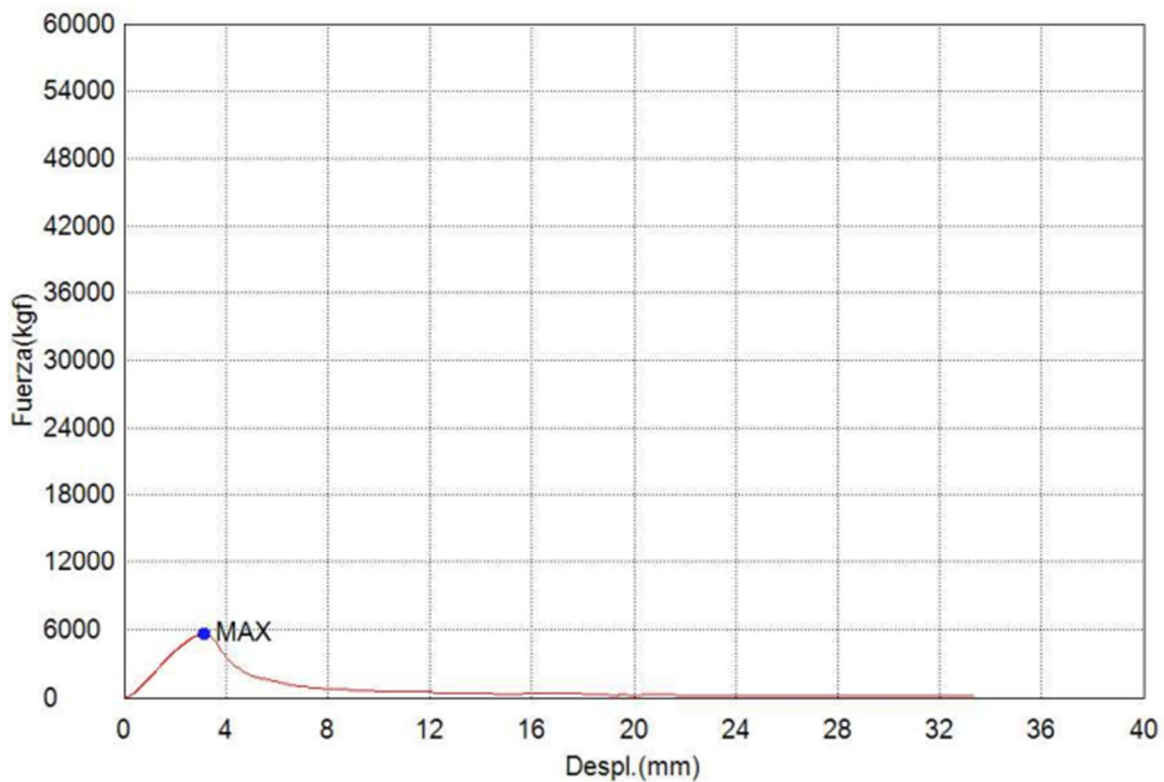
Comentarios

Anexo 47.

Ensayo de resistencia a compresión a los 28 días de curado por cámara húmeda, de suelo natural-cemento con compactación por esfuerzos de prensa. Muestra 1.

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	_20230615_1153.xtux	Nombre de metodo de ensayo	
Fecha de informe	15/6/2023	Fecha de ensayo	15/6/2023
Modo de Ensayo	Concrete	Tipo de ensayo	Compresion
Velocidad	2,5kgf/cm2/sec	Forma	Cylinder
Nºde partidas:	1	Nºde muestras:	1

Nombre Parametros	Max._Fuerza Calc. at Entire Areas	Max._Tension Calc. at Entire Areas
Unidad	kgf	kgf/cm2
1 _ 1	5590	69,8
Media	5590	69,8
Desviacion Estandar	--	--
Rango	0,00000	0,00000



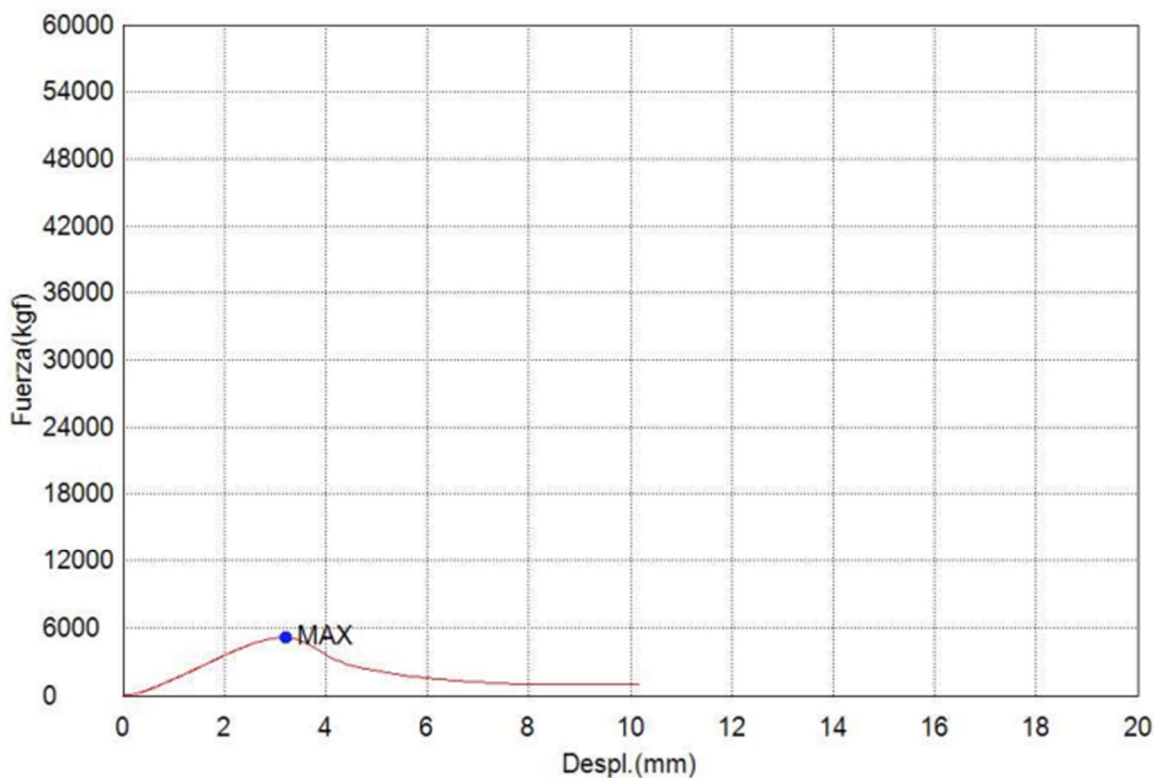
Comentarios

Anexo 48.

Ensayo de resistencia a compresión a los 28 días de curado por cámara húmeda, de suelo natural-cemento con compactación por esfuerzos de prensa. Muestra 2.

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	_20230615_1148.xtux	Nombre de metodo de ensayo	
Fecha de informe	15/6/2023	Fecha de ensayo	15/6/2023
Modo de Ensayo	Concrete	Tipo de ensayo	Compresion
Velocidad	2,5kgf/cm2/sec	Forma	Cylinder
Nº de partidas:	1	Nº de muestras:	1

Nombre Parametros	Max_Fuerza Calc. at Entire Areas	Max_Tension Calc. at Entire Areas
Unidad	kgf	kgf/cm2
1_1	5160	64,4
Media	5160	64,4
Desviacion Estandar	-.-	-.-
Rango	0,00000	0,00000



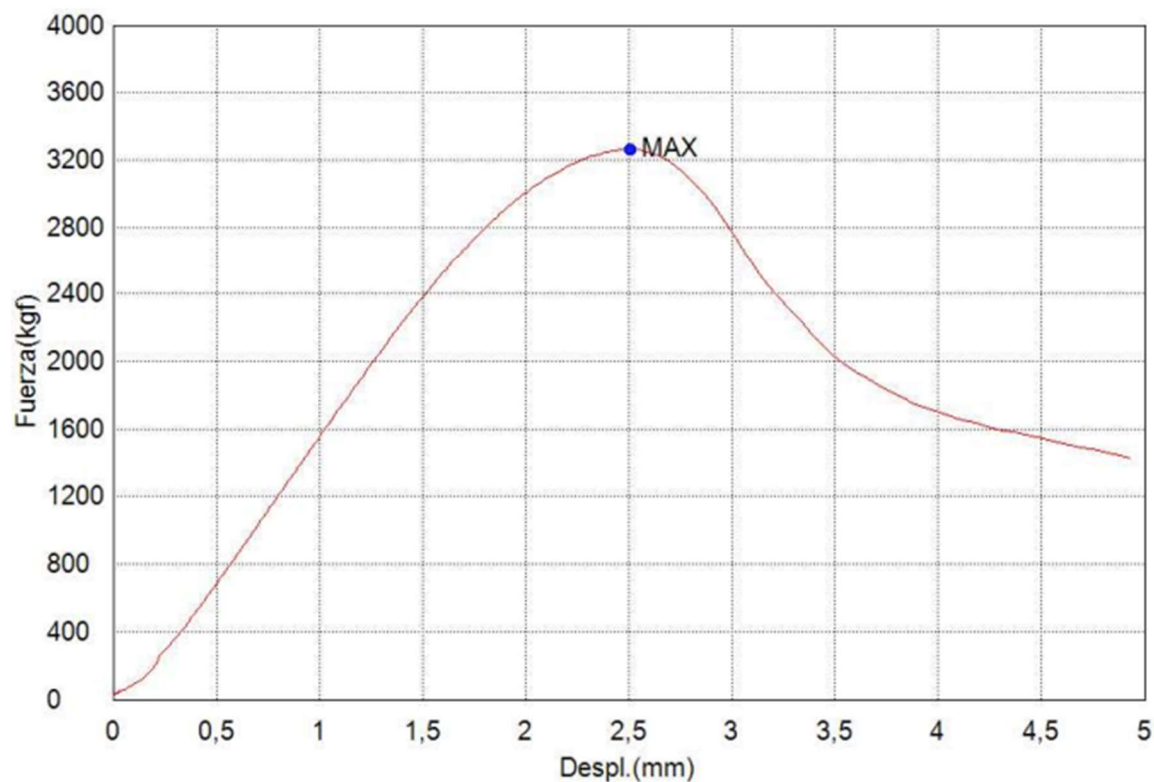
Comentarios

Anexo 49.

Ensayo de resistencia a compresión a los 7 días de curado por capilaridad, de suelo natural-cemento con compactación por esfuerzos de prensa. Muestra 1.

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	_20230525_1059.xtux	Nombre de metodo de ensayo	
Fecha de informe	25/5/2023	Fecha de ensayo	25/5/2023
Modo de Ensayo	Concrete	Tipo de ensayo	Compresion
Velocidad	2,5kgf/cm2/sec	Forma	Cylinder
Nºde partidas:	1	Nºde muestras:	1

Nombre Parametros	Max_Fuerza Calc. at Entire Areas	Max_Tension Calc. at Entire Areas
Unidad	kgf	kgf/cm2
1_1	3260	40,7
Media	3260	40,7
Desviacion Estandar	--	--
Rango	0,00000	0,00000



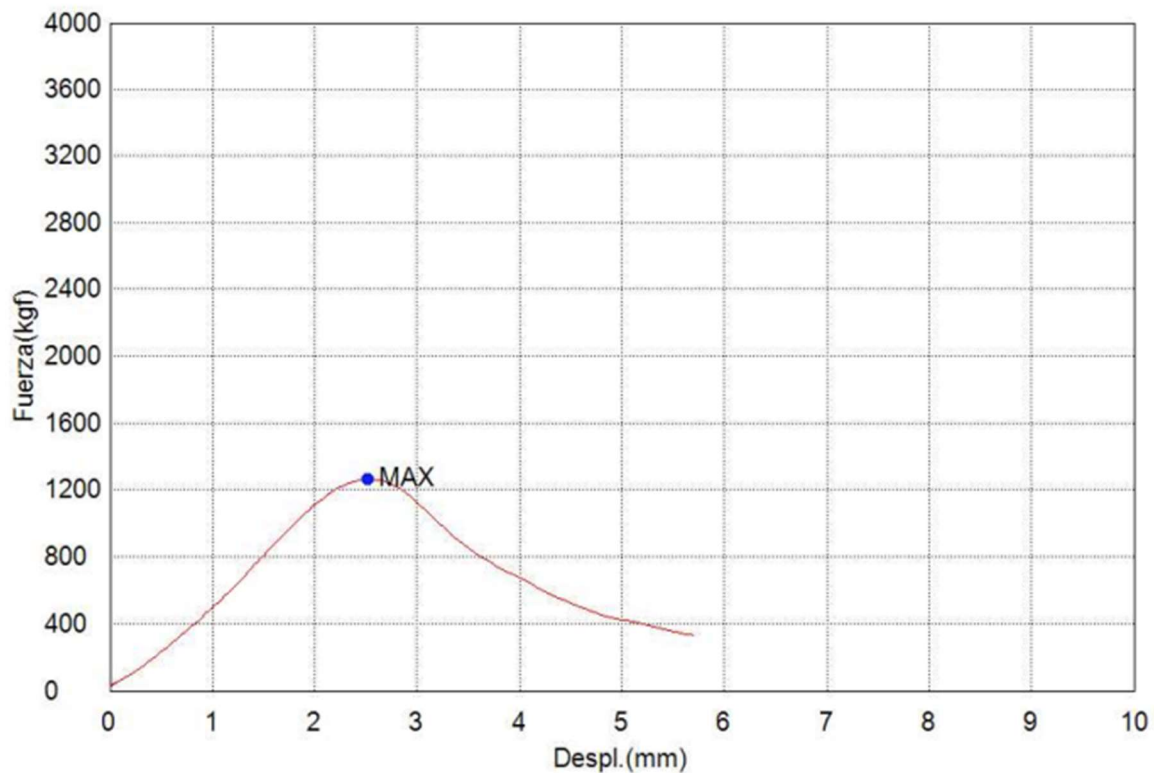
Comentarios

Anexo 50.

Ensayo de resistencia a compresión a los 7 días de curado por capilaridad, de suelo natural-cemento con compactación por esfuerzos de prensa. Muestra 2.

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	_20230525_1106.xtux	Nombre de metodo de ensayo	
Fecha de informe	25/5/2023	Fecha de ensayo	25/5/2023
Modo de Ensayo	Concrete	Tipo de ensayo	Compresion
Velocidad	2,5kgf/cm2/sec	Forma	Cylinder
N°de partidas:	1	N°de muestras:	1

Nombre Parametros	Max._Fuerza Calc. at Entire Areas	Max._Tension Calc. at Entire Areas
Unidad	kgf	kgf/cm2
1_1	1260	15,7
Media	1260	15,7
Desviacion Estandar	--	--
Rango	0,00000	0,00000



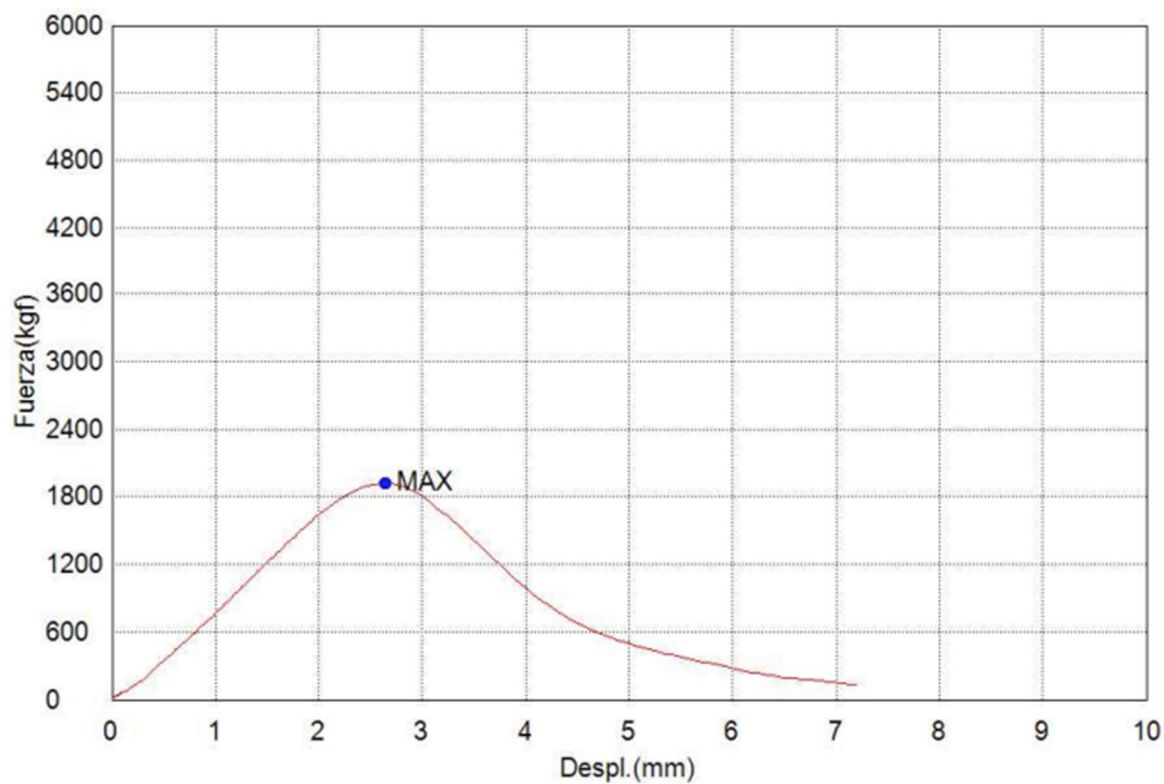
Comentarios

Anexo 51.

Ensayo de resistencia a compresión a los 14 días de curado por capilaridad, de suelo natural-cemento con compactación por esfuerzos de prensa. Muestra 1.

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	_20230601_1213.xtux	Nombre de metodo de ensayo	
Fecha de informe	1/6/2023	Fecha de ensayo	1/6/2023
Modo de Ensayo	Concrete	Tipo de ensayo	Compresion
Velocidad	2,5kgf/cm2/sec	Forma	Cylinder
Nºde partidas:	1	Nºde muestras:	1

Nombre Parametros	Max_Fuerza Calc. at Entire Areas	Max_Tension Calc. at Entire Areas
Unidad	kgf	kgf/cm2
1_1	1920	24
Media	1920	24
Desviacion Estandar	--	--
Rango	0,00000	0,00000



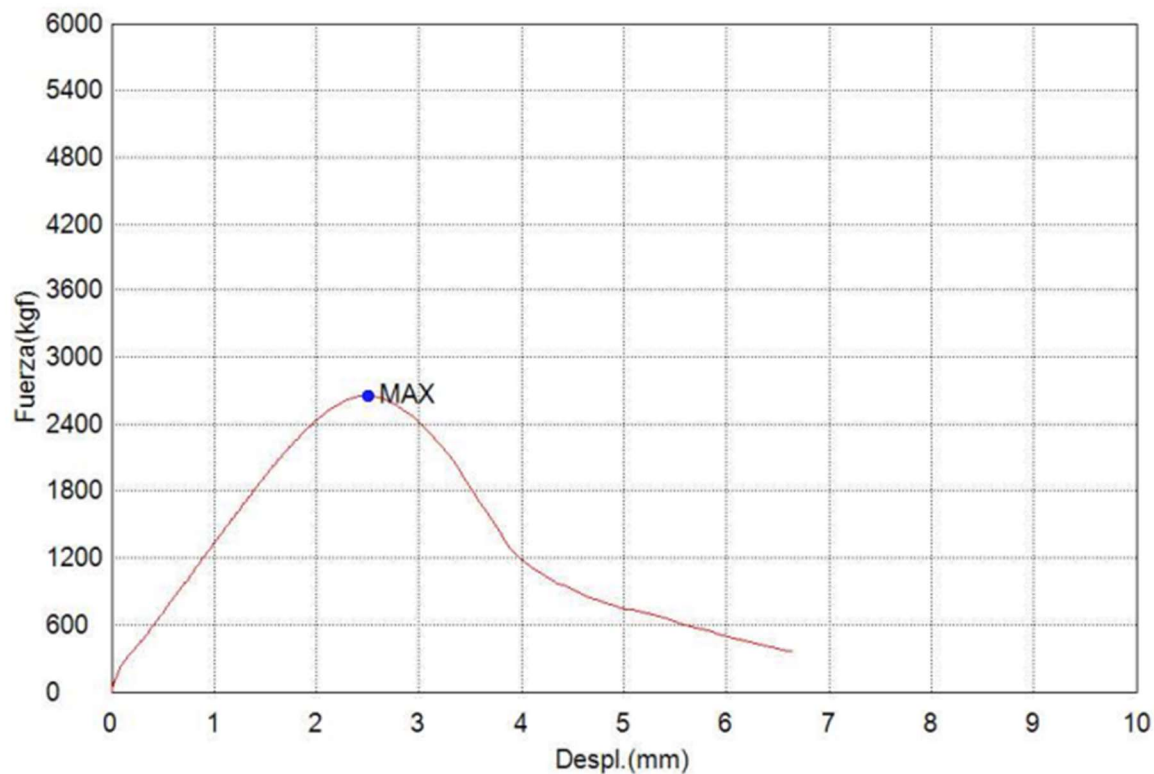
Comentarios

Anexo 52.

Ensayo de resistencia a compresión a los 14 días de curado por capilaridad, de suelo natural-cemento con compactación por esfuerzos de prensa. Muestra 2.

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	_20230601_1217.xtux	Nombre de metodo de ensayo	
Fecha de informe	1/6/2023	Fecha de ensayo	1/6/2023
Modo de Ensayo	Concrete	Tipo de ensayo	Compresion
Velocidad	2,5kgf/cm2/sec	Forma	Cylinder
Nºde partidas:	1	Nºde muestras:	1

Nombre Parametros	Max_Fuerza Calc. at Entire Areas	Max_Tension Calc. at Entire Areas
Unidad	kgf	kgf/cm2
1_1	2660	33,2
Media	2660	33,2
Desviacion Estandar	--	--
Rango	0,00000	0,00000



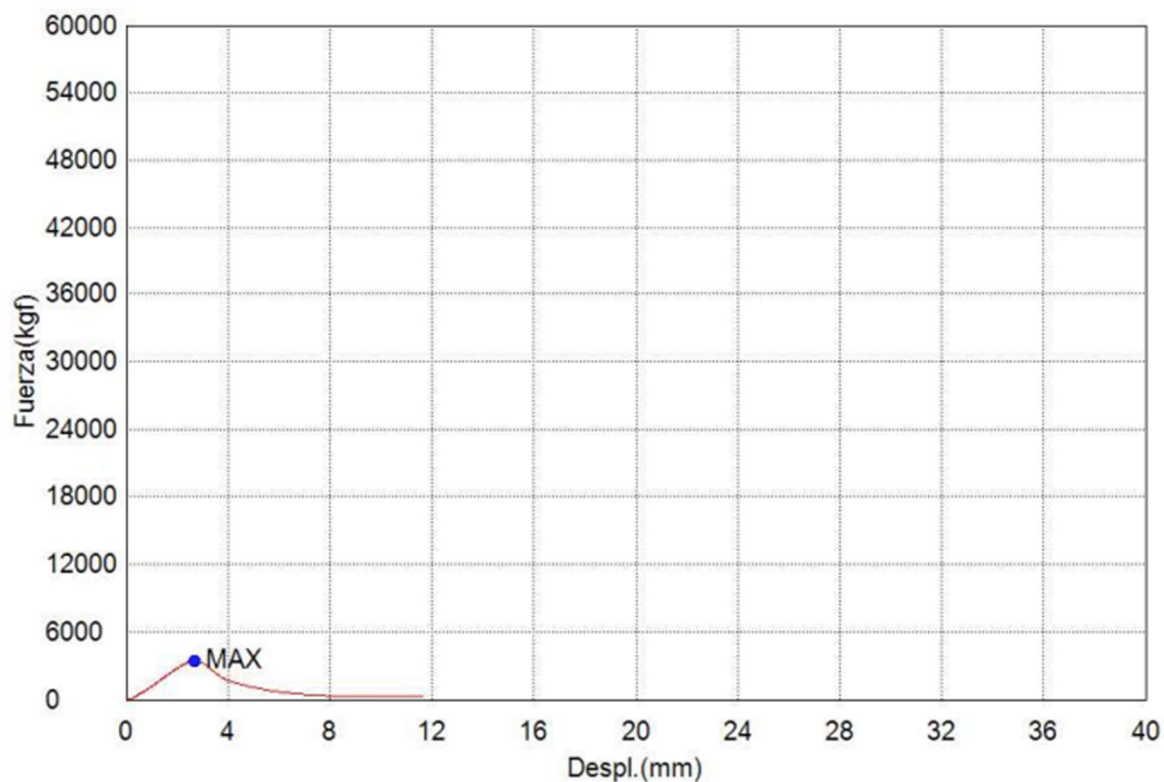
Comentarios

Anexo 53.

Ensayo de resistencia a compresión a los 28 días de curado por capilaridad, de suelo natural-cemento con compactación por esfuerzos de prensa. Muestra 1.

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	_20230615_1208.xtux	Nombre de metodo de ensayo	
Fecha de informe	15/6/2023	Fecha de ensayo	15/6/2023
Modo de Ensayo	Concrete	Tipo de ensayo	Compresion
Velocidad	2,5kgf/cm2/sec	Forma	Cylinder
Nºde partidas:	1	Nºde muestras:	1

Nombre Parametros	Max._Fuerza Calc. at Entire Areas	Max._Tension Calc. at Entire Areas
Unidad	kgf	kgf/cm2
1_1	3420	42,7
Media	3420	42,7
Desviacion Estandar	--	--
Rango	0,00000	0,00000



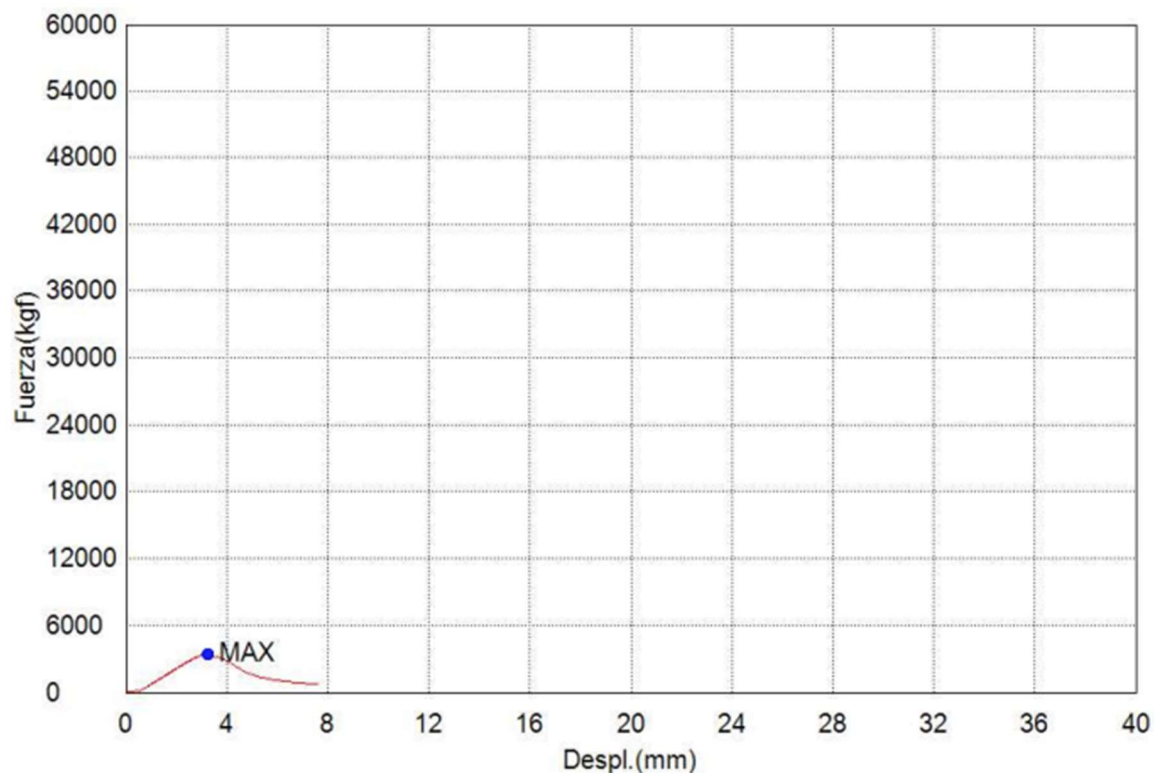
Comentarios

Anexo 54.

Ensayo de resistencia a compresión a los 28 días de curado por capilaridad, de suelo natural-cemento con compactación por esfuerzos de prensa. Muestra 2.

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	_20230615_1203.xtux	Nombre de metodo de ensayo	
Fecha de informe	15/6/2023	Fecha de ensayo	15/6/2023
Modo de Ensayo	Concrete	Tipo de ensayo	Compresion
Velocidad	2,5kgf/cm2/sec	Forma	Cylinder
Nº de partidas:	1	Nº de muestras:	1

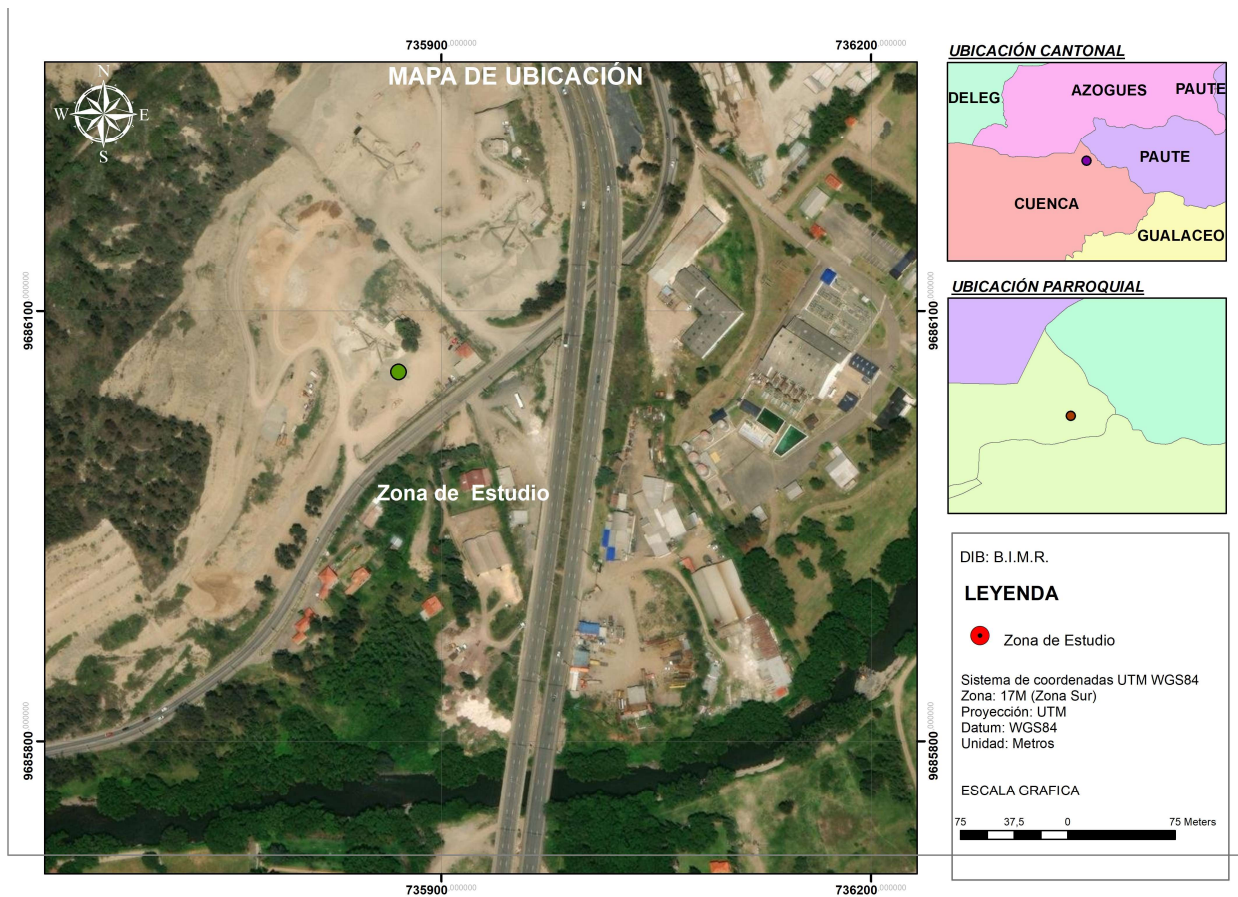
Nombre Parametros	Max. Fuerza Calc. at Entire Areas	Max. Tension Calc. at Entire Areas
Unidad	kgf	kgf/cm2
1_1	3400	42,4
Media	3400	42,4
Desviacion Estandar	--	--
Rango	0,00000	0,00000



Comentarios

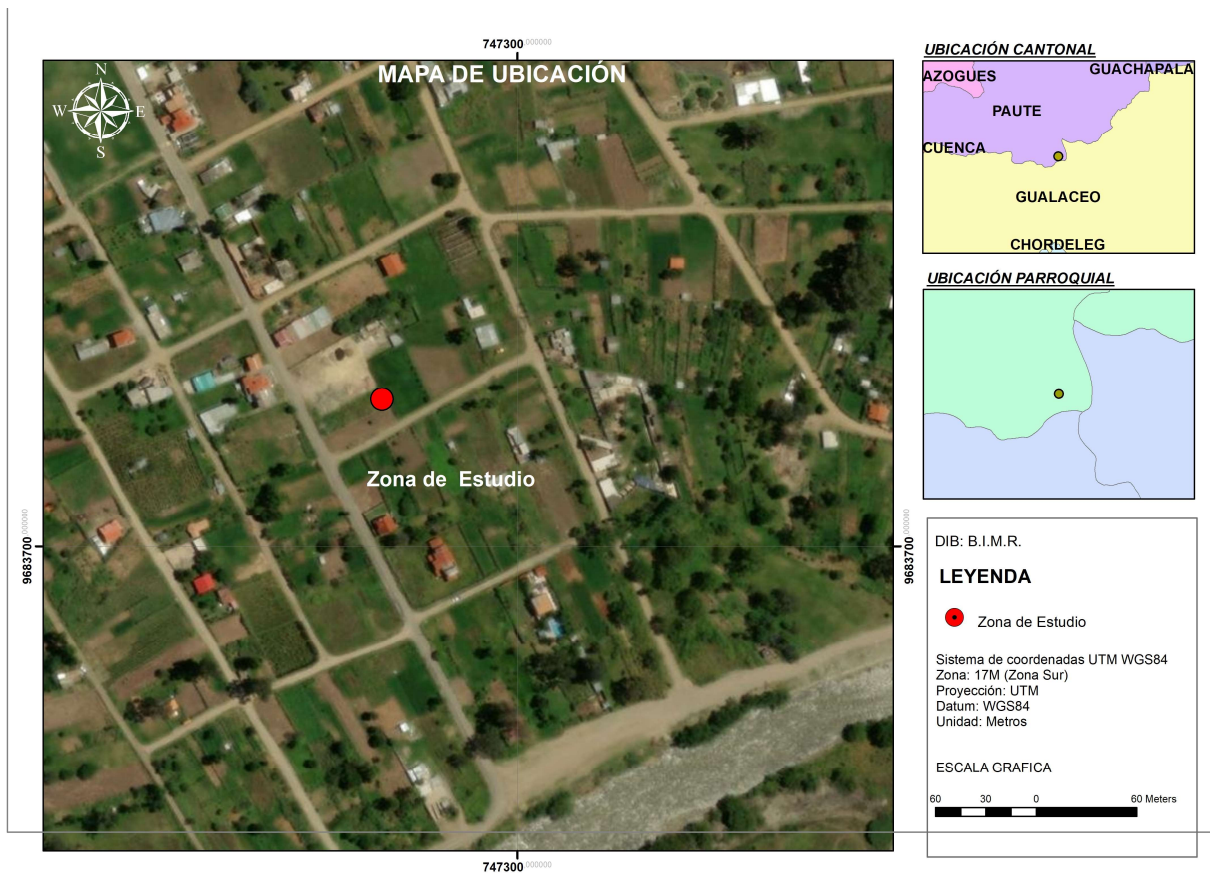
Anexo 55.

Mapa de ubicación de la zona de obtención de la muestra de Base Granular.



Anexo 56.

Mapa de ubicación de la zona de obtención de la muestra de subrasante.



AUTORIZACION DE PUBLICACION EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Nosotros, Karen Lizbeth Condo Segarra y Kelvin Alexis Gutierrez Pino portadores de las cédulas de ciudadanía N.º 0104779509 y 0105904940. En calidad de autores y titulares de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación “Análisis comparativo entre los métodos de curado (capilaridad y cámara húmeda); y, métodos de compactación (Proctor estándar y bajo esfuerzos de prensa) para estabilizar un suelo-cemento.” de conformidad a lo establecido en el artículo 114 Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, reconocemos a favor de la Universidad Católica de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos. Así mismo; autorizamos a la Universidad para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 10 de octubre de 2023.

F: 
Karen Lizbeth Condo Segarra
0104779509

F: 
Kelvin Alexis Gutierrez Pino
0105904940