

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD
DEL CUSCO
FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERÍA CIVIL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



TÍTULO:
**“EVALUACIÓN DE LOS RESIDUOS RECICLADOS DE LAS
LADRILLERAS DE SAN JERÓNIMO, PARA LA
APLICACIÓN EN SUB BASE DE PAVIMENTOS, EN LA
CIUDAD DEL CUSCO - 2018”**

Presentado por:

Bach. ACUÑA OBREGON, Julie Teresa

Bach. RUMAJA SANTOS, Marc

Dictaminantes:

Ing. LUNA ROZAS, William Américo

Mgt. Ing. SOLIS QUISPE, Ignacio Fructuoso

M.Sc. Ing. AGUILAR HUERTA, José Ronald

Tesis presentada para Optar al Título Profesional de Ingeniero Civil

CUSCO, Mayo 2019.

Dedicatoria

A Dios por darme la fuerza para continuar y llegar hasta este momento.

Mis padres por el esfuerzo, empeño, dedicación y apoyo incondicional en salir adelante, mis hermanos por la motivación, consejos y apoyo incondicional, mi familia por su compañía.

Julie.

Dios, por darme la oportunidad de vivir y por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.

Mis padres, mis hermanos, por su gran amor y paciencia, por creer siempre en mí y darme su apoyo incondicional.

Mi novia por brindarme su comprensión y apoyo, por estar presente en los momentos más difíciles de mi vida.

Marc.

Agradecimiento

A nuestra comisión dictaminadora de tesis al Ing. William Américo Luna Rozas, Mgt. Ing. Ignacio Solis Quispe y M.Sc. Ing. José Ronald Aguilar Huerta, por su disposición, tiempo, y apoyo constante en el desarrollo de la investigación

A los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil por brindarnos sus conocimientos en su labor de docencia, a los amigos y compañeros por su apoyo constante a lo largo de nuestra vida universitaria y desarrollo de la tesis.

Julie y Marc

Resumen

La presente tesis de investigación tiene como principal objetivo evaluar las características físico-mecánicas y químicas de los residuos reciclados de las ladrilleras de San Jerónimo – Cusco, estos residuos se convirtieron en agregado mediante trituración. El material resultante fue sometido a ensayos de laboratorio los cuales fueron: granulometría, abrasión, CBR, límite líquido, límite plástico, equivalente de arena, sales solubles y partículas chatas y alargadas, dando resultados que se encuentran dentro de los parámetros de la EG-2013. Existe una diferencia entre el material coccionado y sobre coccionado respecto a los resultados obtenidos, esto debido al grado de calcinación al que están sometidos los ladrillos.

Cabe resaltar que los ensayos de límite líquido y límite plástico no fueron realizables, dando, así como resultado que el material tiene características de un suelo areno limoso.

Adicionalmente se realizó una comparación de las propiedades físico-mecánicas y químicas entre los residuos reciclados de ladrillos (material coccionado y sobre coccionado) y el material de Sencca. Cabe destacar que el material proveniente de los residuos sobre coccionados y el material de Sencca tuvieron similares valores en las propiedades físico-mecánicas y químicas.

Finalmente se realizó el diseño de pavimento rígido para ambos tipos de materiales, resultando que para el material sobre coccionado el espesor de la carpeta de rodadura fue de 0.5cm de espesor por debajo a comparación del material coccionado, ambos sometidos a las mismas condiciones de tráfico, dando así que el material sobre coccionado tiene mejor desempeño.

Palabras claves: Residuos reciclados, ladrillos, sub base, arcilla, aplicación.

Abstract

The main objective of this research thesis is to evaluate the physico-mechanical and chemical characteristics of the recycled waste from the San Jerónimo-Cusco brickworks, these wastes were added by crushing. The resulting material was subjected to laboratory tests which were: granulometry, abrasion, CBR, liquid limit, plastic limit, sand equivalent, soluble salts and flat and elongated particles, giving results that are within the parameters of the EG- 2013. There is a difference between the material baked and overcooked with respect to the results obtained, this due to the degree of calcination to which the bricks are subjected.

It should be noted that the liquid limit and plastic limit tests were not feasible, thus giving the result that the material has the characteristics of a silty sandy soil.

Additionally, a comparison of the physico-mechanical and chemical properties between the recycled bricks waste (material co-cured and overcooked) and the material of Sencca was carried out. It should be noted that the material coming from the overcooked residues and the Sencca material had similar values in the physical-mechanical and chemical properties.

Finally, the design of rigid pavement was made for both types of materials, resulting that for the material overcooked the thickness of the tread was 0.5cm thick below the comparison of the material being worked, both subjected to the same traffic conditions, thus giving the material about cooking a better performance.

Keywords: recycled waste, bricks, sub-base, clay, application.

ÍNDICE

| | |
|---|-------------|
| Lista de Tablas | vii |
| Lista de Figuras | xi |
| Lista de diagramas | xiii |
| Capítulo I: Aspectos Generales | 1 |
| 1.1 Situación Problemática | 1 |
| 1.2 Justificación del Estudio | 1 |
| 1.3 Planteamiento del Problema | 2 |
| 1.3.1 Problema general: | 2 |
| 1.3.2 Problemas Específicos: | 2 |
| 1.4 Objetivos de la Investigación | 3 |
| 1.4.1 Objetivo General | 3 |
| 1.4.2 Objetivos Específicos: | 3 |
| 1.5 Formulación de Hipótesis e Identificación de Variables | 3 |
| 1.5.1 Formulación de Hipótesis | 3 |
| 1.5.2 Identificación de Variables | 4 |
| 1.5.3 Operacionalización de variables | 5 |
| Capítulo II: Marco Teórico | 6 |
| 2.1 Antecedentes de la investigación | 6 |
| 2.2 Bases teóricas - conceptuales | 8 |
| 2.2.1 El ladrillo | 8 |
| 2.2.2 Componentes del ladrillo | 10 |
| 2.2.3 Aspecto ecológico del proceso productivo del ladrillo. | 11 |

| | | |
|--|--|-----------|
| 2.3 | Teorías de la estructura de pavimentos | 13 |
| 2.3.1 | Pavimento | 13 |
| 2.3.2 | Carpeta de rodadura | 15 |
| 2.3.3 | Base | 15 |
| 2.3.4 | Sub base | 15 |
| 2.3.5 | Materiales usados en sub base | 16 |
| 2.4 | Requisitos de los materiales para sub base granular. | 17 |
| 2.4.1 | Correlación del módulo de reacción y el valor de CBR según tipo de suelo. | 18 |
| 2.5 | Propiedades para sub base de pavimentos de la cantera Sencca - Cusco. | 20 |
| 2.6 | Marco conceptual | 21 |
| Capítulo III: Metodología de la Investigación | | 23 |
| 3.1 | Enfoque, nivel y diseño de la Investigación | 23 |
| 3.1.1 | Enfoque de la investigación | 23 |
| 3.1.2 | Nivel de estudio | 23 |
| 3.1.3 | Diseño de investigación | 23 |
| 3.1.4 | Unidad de análisis | 27 |
| 3.1.5 | Población de Estudio | 27 |
| 3.1.6 | Tamaño de la muestra | 27 |
| 3.1.7 | Técnicas de recolección de datos e información | 30 |
| Capítulo IV: Determinación de las características físico-mecánicas y químicas de los residuos reciclados de las ladrilleras | | 32 |
| 4.1 | Obtención en laboratorio de muestras representativas (Cuarteo). | 32 |
| 4.2 | Análisis Granulométrico | 32 |

| | | |
|---|--|-----------|
| 4.3 | Abrasión los ángeles (L.A.) al desgaste de los agregados de tamaños menores de 37,5 mm (1 1/2”), referencia normativa MTC E – 207 | 35 |
| 4.4 | CBR (California Bearing Ratio) de suelos (laboratorio) | 37 |
| 4.4.1 | Contenido de humedad | 37 |
| 4.4.2 | Compactación de suelos utilizando una energía modificada (Proctor modificado) | 39 |
| 4.4.3 | California Bearing Ratio (CBR) | 41 |
| 4.5 | Determinación del límite líquido de los suelos (LL) | 44 |
| 4.6 | Determinación del límite plástico (L.P.) de los suelos índice de plasticidad (I.P.) | 46 |
| 4.7 | Método de ensayo estándar para el valor Equivalente de Arena de suelos y agregado fino | 46 |
| 4.8 | Sales Solubles en agregados para pavimentos flexibles | 48 |
| 4.9 | Partículas chatas y alargadas en agregados | 50 |
| 4.10 | Absorción de agregados | 51 |
| 4.10.1 | Absorción de agregados finos | 51 |
| 4.10.2 | Absorción de agregados gruesos | 53 |
| 4.11 | Módulo de reacción | 55 |
| Capítulo V: Análisis e Interpretación de Datos | | 60 |
| 5.1 | Análisis e interpretación de las características físico-mecánicas y químicas | 60 |
| 5.1.1 | Análisis Granulométrico | 60 |
| 5.1.2 | Clasificación de suelos | 61 |
| 5.1.3 | Abrasión los ángeles | 62 |
| 5.1.4 | California Bearing Ratio (CBR) de suelos (laboratorio) | 62 |
| 5.1.5 | Límite líquido de los suelos (LL) | 64 |

| | | |
|---|---|-----------|
| 5.1.6 | Determinación del límite plástico (L.P.) de los suelos índice de plasticidad (I.P.) | 64 |
| 5.1.7 | Valor Equivalente de Arena de suelos y agregado fino | 64 |
| 5.1.8 | Sales Solubles en agregados para pavimentos flexibles | 65 |
| 5.1.9 | Partículas chatas y alargadas en agregados | 66 |
| 5.1.10 | Absorción de agregados | 66 |
| 5.1.11 | Módulo de reacción | 67 |
| 5.2 | Comportamiento del proctor modificado en condiciones críticas | 68 |
| Capítulo VI: Aplicación de los residuos reciclados de ladrillos en sub base de pavimentos | | 70 |
| 6.1 | Diseño de pavimentos por el método de la Portland Cement Association (PCA) | 70 |
| 6.1.1 | Estudio del tráfico | 70 |
| 6.2 | Diseño del pavimento para material coccionado | 75 |
| 6.2.1 | Análisis por fatiga | 75 |
| 6.2.2 | Análisis por erosión | 76 |
| 6.3 | Cálculo del número de repeticiones permitidas | 77 |
| 6.4 | Diseño del pavimento para material sobre coccionado | 80 |
| 6.4.1 | Análisis por fatiga | 80 |
| 6.4.2 | Análisis por erosión | 80 |
| 6.5 | Diseño de juntas | 81 |
| 6.5.1 | Juntas de Dilatación Longitudinales | 81 |
| 6.5.2 | Juntas de Dilatación transversal | 83 |
| Capítulo VII: Estudio de Mercado de los residuos reciclados de ladrillos como material para sub base de pavimentos | | 86 |
| 7.1 | Volumen disponible de residuos reciclados de las ladrilleras de San Jerónimo | 86 |

| | | |
|--|---|------------|
| 7.1.1 | Producción y porcentaje de residuos de ladrillos por horno | 86 |
| 7.1.2 | Cálculo del volumen disponible de residuos reciclados de ladrillos | 89 |
| 7.2 | Costo Unitario de los residuos reciclados como material de sub base | 90 |
| 7.2.1 | Estudio de la aceptabilidad de los residuos reciclados de ladrillos como material para sub base de pavimentos | 91 |
| Capítulo VIII: Discusión de Resultados | | 97 |
| 8.1 | Discusión de resultados con los antecedentes | 97 |
| 8.2 | Discusión de resultados con respecto al material para sub base de la cantera de Sencca | 98 |
| 8.2.1 | Análisis Granulométrico | 98 |
| Capítulo IX: Conclusiones y Recomendaciones | | 102 |
| 9.1 | Conclusiones | 102 |
| 9.2 | Recomendaciones | 104 |
| Referencia bibliográfica | | 106 |

Lista de Tablas

| | | |
|---------|---|----|
| Tabla 1 | Requerimiento granulométrico para sub base granular | 18 |
| Tabla 2 | Requerimiento de ensayos especiales para sub base de pavimentos | 18 |
| Tabla 3 | Clasificación de suelos según la AASHTO y rangos de valores de K recomendados para varios tipos de suelos | 19 |
| Tabla 4 | Propiedades físico-mecánicas y químicas del material de Sencca | 20 |
| Tabla 5 | Cantidad de muestra según ladrillera | 29 |
| Tabla 6 | Cantidad de Ensayos por tipo de muestra | 30 |
| Tabla 7 | Requerimientos granulométricos para sub base granular | 33 |

| | | |
|----------|--|----|
| Tabla 8 | Datos del ensayo granulométrico, muestras de residuos de ladrillo coccionado | 34 |
| Tabla 9 | Datos del ensayo granulométrico, muestras de residuos de ladrillo sobre coccionado (SC) | 34 |
| Tabla 10 | Resumen de datos del ensayo de Abrasión, muestras de residuos de ladrillo coccionado..... | 36 |
| Tabla 11 | Resumen de datos del ensayo Abrasión, muestras de residuos de ladrillo sobre coccionado..... | 37 |
| Tabla 12 | Resumen de datos del ensayo contenido de humedad natural, muestra coccionada | 38 |
| Tabla 13 | Resumen de datos del ensayo contenido de humedad natural, muestra sobre coccionado..... | 38 |
| Tabla 14 | Resumen de datos del ensayo proctor modificado (contenido de humedad), muestra coccionada M1 | 40 |
| Tabla 15 | Resumen de datos del ensayo proctor modificado (densidad seca) muestra coccionada M1 | 41 |
| Tabla 16 | Resumen de datos de Penetración y esfuerzos de la Muestra (M1)..... | 43 |
| Tabla 17 | Valores de Esfuerzo Patrón..... | 43 |
| Tabla 18 | Resultados CBR Muestra (M1) residuos de ladrillo coccionado | 44 |
| Tabla 19 | Resumen de datos del ensayo del equivalente de arena para muestra coccionada . | 48 |
| Tabla 20 | Resumen de datos del ensayo de equivalente de arena para muestra sobre coccionada | 48 |
| Tabla 21 | Cantidad y aforo según tamaño de partículas | 49 |
| Tabla 22 | Resultados del ensayo de sales solubles..... | 50 |

| | | |
|----------|---|----|
| Tabla 23 | Resumen de datos del ensayo de partículas chatas y alargadas, muestra coccionada M1 | 51 |
| Tabla 24 | Resumen de datos del ensayo de absorción, muestra coccionada (C) | 52 |
| Tabla 25 | Datos del ensayo de absorción, muestra sobre coccionado (SC) | 53 |
| Tabla 26 | Resumen de datos del ensayo de absorción agregado grueso, muestra de ladrillo coccionado..... | 54 |
| Tabla 27 | Resumen de datos del ensayo de absorción agregado grueso, muestra de ladrillo coccionado..... | 55 |
| Tabla 28 | Resumen de datos del ensayo de módulo de reacción, muestra coccionada..... | 57 |
| Tabla 29 | Valor del módulo de reacción, material reciclado | 58 |
| Tabla 30 | Resumen de datos del ensayo de módulo de reacción, muestra sobre coccionada .. | 58 |
| Tabla 31 | Valor del módulo de reacción, material reciclado sobre coccionado | 59 |
| Tabla 32 | Resultados del ensayo de abrasión..... | 62 |
| Tabla 33 | Resultados del ensayo de CBR, muestra coccionada y sobre coccionada | 63 |
| Tabla 34 | Resultados del ensayo de comprobación de CBR..... | 63 |
| Tabla 35 | Resultados del ensayo de límite líquido..... | 64 |
| Tabla 36 | Resultados del ensayo de índice de plasticidad | 64 |
| Tabla 37 | Resultados del ensayo de equivalente de arena..... | 65 |
| Tabla 38 | Resultados del ensayo de sales solubles..... | 65 |
| Tabla 39 | Resultados del ensayo de partículas chatas y alargadas..... | 66 |
| Tabla 40 | Resultados del ensayo de absorción de agregado fino | 67 |
| Tabla 41 | Resultados del ensayo de absorción para agregados gruesos..... | 67 |
| Tabla 42 | Resultados del ensayo de módulo de reacción..... | 67 |

| | | |
|----------|---|----|
| Tabla 43 | Valores promedio de CBR para diseño de pavimento | 70 |
| Tabla 44 | Volumen de tráfico Actual | 71 |
| Tabla 45 | Transito promedio diario semanal (TPDS) | 71 |
| Tabla 46 | Tránsito de diseño | 72 |
| Tabla 47 | Carga por eje (ton) | 73 |
| Tabla 48 | Peso por eje según vehículo | 74 |
| Tabla 49 | Valores de K según CBR, diseño de pavimento | 74 |
| Tabla 50 | Peso por eje según vehículo | 78 |
| Tabla 51 | Resumen de datos de repeticiones permitidas, espesor de 17cm | 79 |
| Tabla 52 | Resumen de datos de repeticiones permitidas, espesor de 16.5cm | 81 |
| Tabla 53 | Resultados obtenidos del diseño por el método PCA | 81 |
| Tabla 54 | Producción de ladrillos y residuos de ladrillos por horno | 87 |
| Tabla 55 | Producción de ladrillos por tipo en San Jerónimo, semanal, mensual y anual | 88 |
| Tabla 56 | Producción semanal de residuos de ladrillos en San Jerónimo, semanal mensual y anual | 88 |
| Tabla 57 | Volumen disponible por unidad de ladrillo | 89 |
| Tabla 58 | Producción anual disponible de residuos reciclados de ladrillos | 89 |
| Tabla 59 | Análisis de precios unitarios de transporte de residuos reciclados de ladrillos a la chancadora | 90 |
| Tabla 60 | Análisis de precios unitarios del chancado de residuos de ladrillos | 90 |
| Tabla 61 | Costo unitario por m3 de residuos reciclado de ladrillo como material para sub base | 91 |
| Tabla 62 | Comparación de resultados con los antecedentes | 97 |

| | |
|---|-----|
| Tabla 63 Resumen de resultados: muestra coccionada, muestra sobre coccionada, material de Sencca y la norma EG-2013 | 100 |
|---|-----|

Lista de Figuras

| | |
|--|----|
| Figura 1 Operacionalización de variables | 5 |
| Figura 2 Clases de unidades de albañilería | 8 |
| Figura 3 Tipos de ladrillos king kong | 9 |
| Figura 4 Tipos de ladrillos bloquer | 10 |
| Figura 5 Niveles de impacto ambiental producidos por las diferentes etapas del proceso de fabricación del ladrillo | 12 |
| Figura 6 Niveles de emisiones par la cuenca atmosférica del Cusco..... | 13 |
| Figura 7 Esquema del comportamiento de pavimentos flexibles y rígidos | 14 |
| Figura 8 Transmisión de cargas en pavimento rígido y flexible | 15 |
| Figura 9 Esquema del diseño de investigación | 24 |
| Figura 10 Proceso de ensayos de laboratorio..... | 26 |
| Figura 11 Elección de la gradación según análisis granulométrico | 36 |
| Figura 12 Curva CBR, muestra M1 | 44 |
| Figura 13 Cantidad de material para el ensayo de partículas chatas y alargadas, según tamaño máximo nominal..... | 51 |
| Figura 14 Cantidad mínima de material para el ensayo de absorción..... | 54 |
| Figura 15 Dimensión y distribución de alturas de compactación, según material | 56 |
| Figura 16 Módulo de reacción del material reciclado coccionado | 58 |
| Figura 17 Módulo de reacción del material reciclado sobre coccionado..... | 59 |
| Figura 18 Resumen de curvas granulométricas para muestra coccionada | 60 |

| | |
|--|----|
| Figura 19 Resumen de curvas granulométricas para muestra sobre coccionada | 61 |
| Figura 20 Curva de compactación proctor modificado condiciones críticas | 68 |
| Figura 21 Distribución por pista | 72 |
| Figura 22 Valores de seguridad por carga..... | 73 |
| Figura 23 Abaco de relación de "K" y el valor de CBR | 75 |
| Figura 24 Esfuerzo equivalente para valore K de la sub rasante para una losa de concreto con berma sin pavimento | 76 |
| Figura 25 Abaco para el cálculo de Repeticiones Permitidas según la Factor de erosión | 77 |
| Figura 26 Abaco para el cálculo de repeticiones permitidas según la relación de esfuerzos... 78 | |
| Figura 27 Abaco para el cálculo de Repeticiones Permitidas según la Factor de erosión | 79 |
| Figura 28 Valores de espaciamiento de acero longitudinal según diámetro de acero..... | 82 |
| Figura 29 Valor de longitud del pasador según diámetro de acero | 83 |
| Figura 30 Valores de espaciamiento entre barras | 84 |
| Figura 31 Dimensiones mínimas de los pasadores de carga | 85 |
| Figura 32 Resumen de diámetro, longitud y espaciamiento de juntas | 85 |
| Figura 33 Porcentaje de producción ladrillos bloquer, king kong | 88 |
| Figura 34 Distribución de encuestas | 92 |
| Figura 35 ¿De qué cantera solicita material para sub base?..... | 92 |
| Figura 36 ¿Cuánto paga aproximadamente por m3 de material?..... | 93 |
| Figura 37 ¿Cuál es el factor más influyente para que elija esta cantera? | 94 |
| Figura 38 ¿La calidad del material de cantera, cumple con los requerimientos?..... | 94 |
| Figura 39 ¿Alguna vez utilizó material alternativo para sub base?..... | 95 |

| | |
|---|----|
| Figura 40 ¿De acuerdo a las propiedades físico-mecánicas y químicas Ud. aplicaría este material?..... | 96 |
| Figura 41 ¿Sólo basta con un estudio de laboratorio para que pueda usar este material? | 96 |
| Figura 42 Comparación de resultados: muestra coccionada, muestra sobre coccionada y material de Sencca..... | 99 |

Lista de diagramas

| | |
|--|----|
| Diagrama 1 Obtención de muestra representativa..... | 32 |
| Diagrama 2 Ensayo de análisis granulométrico | 33 |
| Diagrama 3 Ensayo de Abrasión los Ángeles | 35 |
| Diagrama 4 Ensayo contenido de humedad | 37 |
| Diagrama 5 Ensayo de proctor modificado..... | 39 |
| Diagrama 6 Ensayo de CBR | 42 |
| Diagrama 7 Ensayo de límite líquido..... | 45 |
| Diagrama 8 Ensayo de límite líquido..... | 46 |
| Diagrama 9 Ensayo de equivalente de arena..... | 47 |
| Diagrama 10 ensayo de sales solubles | 49 |
| Diagrama 11 Ensayo de partículas chatas y alargadas..... | 50 |
| Diagrama 12 Ensayo de absorción de agregados finos | 52 |
| Diagrama 13 Ensayo de absorción de agregado grueso..... | 53 |
| Diagrama 14 Ensayo de módulo de reacción..... | 55 |

Capítulo I: Aspectos Generales

1.1 Situación Problemática

Debido al crecimiento poblacional de la ciudad del Cusco, surgen nuevas habilitaciones urbanas y por ello la necesidad de ejecutar obras de infraestructura, principalmente las obras viales, cuyos proyectos generan el desarrollo y progreso de una sociedad.

Actualmente en la ciudad del Cusco en el distrito de San Jerónimo existe una gran producción de ladrillos procesados de manera mecanizada, estos a su vez generan cantidades considerables de residuos de ladrillos el cual no tiene un uso adecuado por falta de conocimiento de sus propiedades.

El presente proyecto de investigación tiene por objetivo determinar las características de los residuos reciclados de las ladrilleras y proponer una alternativa de material para la aplicación en sub base de pavimentos de acuerdo a los parámetros del Reglamento Nacional de Edificaciones – Pavimentos Urbanos CE 010, según el Manual de Carreteras, Especificaciones Técnicas Generales para construcción EG-2013.

1.2 Justificación del Estudio

Darle un nuevo uso a los residuos reciclados de las ladrilleras de San Jerónimo como material alternativo para la aplicación en sub base para pavimentos, debido a las características que presenta el ladrillo como la durabilidad, resistencia y rigidez, evaluando el ladrillo triturado para la aplicación en sub base para pavimentos y ver que cumpla con lo requerido en el Manual de Carreteras, Especificaciones Técnicas Generales para construcción EG-2013.

La investigación permitió conocer las propiedades físico-mecánicas y químicas de los residuos reciclados del ladrillo triturado, de esta manera darle un uso alternativo y no simplemente desecharlos como hasta ahora se viene haciendo con el fin de tratar de recuperar la energía utilizada en su fabricación.

1.3 Planteamiento del Problema

1.3.1 Problema general:

PG: ¿Los residuos reciclados de las ladrilleras de San Jerónimo pueden ser utilizados para la aplicación en sub base de pavimentos, en la ciudad del Cusco – 2018?

1.3.2 Problemas Específicos:

PE1: ¿Cuáles son las características físico-mecánicas de los residuos reciclados de las ladrilleras de San Jerónimo para la aplicación en sub base de pavimentos, en la ciudad del Cusco – 2018?

PE2: ¿Cuáles son las características químicas de los residuos reciclados de las ladrilleras de San Jerónimo para la aplicación en sub base de pavimentos, en la ciudad del Cusco – 2018?

PE3: ¿Cuál es el grado de cumplimiento de los residuos reciclados de las ladrilleras de San Jerónimo para la aplicación en sub base de pavimentos, en la ciudad del Cusco – 2018 según el Manual de Carreteras, Especificaciones Técnicas Generales para construcción EG-2013 de la sección 402?

1.4 Objetivos de la Investigación

1.4.1 Objetivo General

OG: Evaluar los residuos reciclados de las ladrilleras de San Jerónimo, para la aplicación en sub base de pavimentos, en la ciudad del Cusco – 2018.

1.4.2 Objetivos Específicos:

OE1: Determinar las características físico-mecánicas de los residuos reciclados de las ladrilleras de San Jerónimo, para la aplicación en sub base de pavimentos, en la ciudad del Cusco – 2018.

OE2: Identificar las características químicas de los residuos reciclados de las ladrilleras de San Jerónimo, para la aplicación en sub base de pavimentos, en la ciudad del Cusco – 2018.

OE3: Analizar el grado de cumplimiento de los residuos reciclados de las ladrilleras de San Jerónimo, para la aplicación en sub base de pavimentos, en la ciudad del Cusco - 2018, según el Manual de Carreteras, Especificaciones Técnicas Generales para construcción EG-2013 en la sección 402.

1.5 Formulación de Hipótesis e Identificación de Variables

1.5.1 Formulación de Hipótesis

1.5.1.1 *Hipótesis General*

HG: Los residuos reciclados de las ladrilleras de San Jerónimo, sí pueden ser aplicados en sub base de pavimentos, en la ciudad del Cusco – 2018.

1.5.1.2 *Hipótesis Específica*

HE1: Según las características físico-mecánicas de los residuos reciclados de las ladrilleras de San Jerónimo, sí pueden ser aplicados en sub base de pavimentos, en la ciudad del Cusco – 2018.

HE2: Según las características químicas de los residuos reciclados de las ladrilleras de San Jerónimo, sí pueden ser aplicados en sub base de pavimentos, en la ciudad del Cusco – 2018.

HE3: El grado de cumplimiento de los residuos reciclados de las ladrilleras de San Jerónimo, para la aplicación en sub base de pavimentos, en la ciudad del Cusco - 2018, sí está dentro de los parámetros del Manual de Carreteras, Especificaciones Técnicas Generales para construcción EG-2013 en la sección 402.

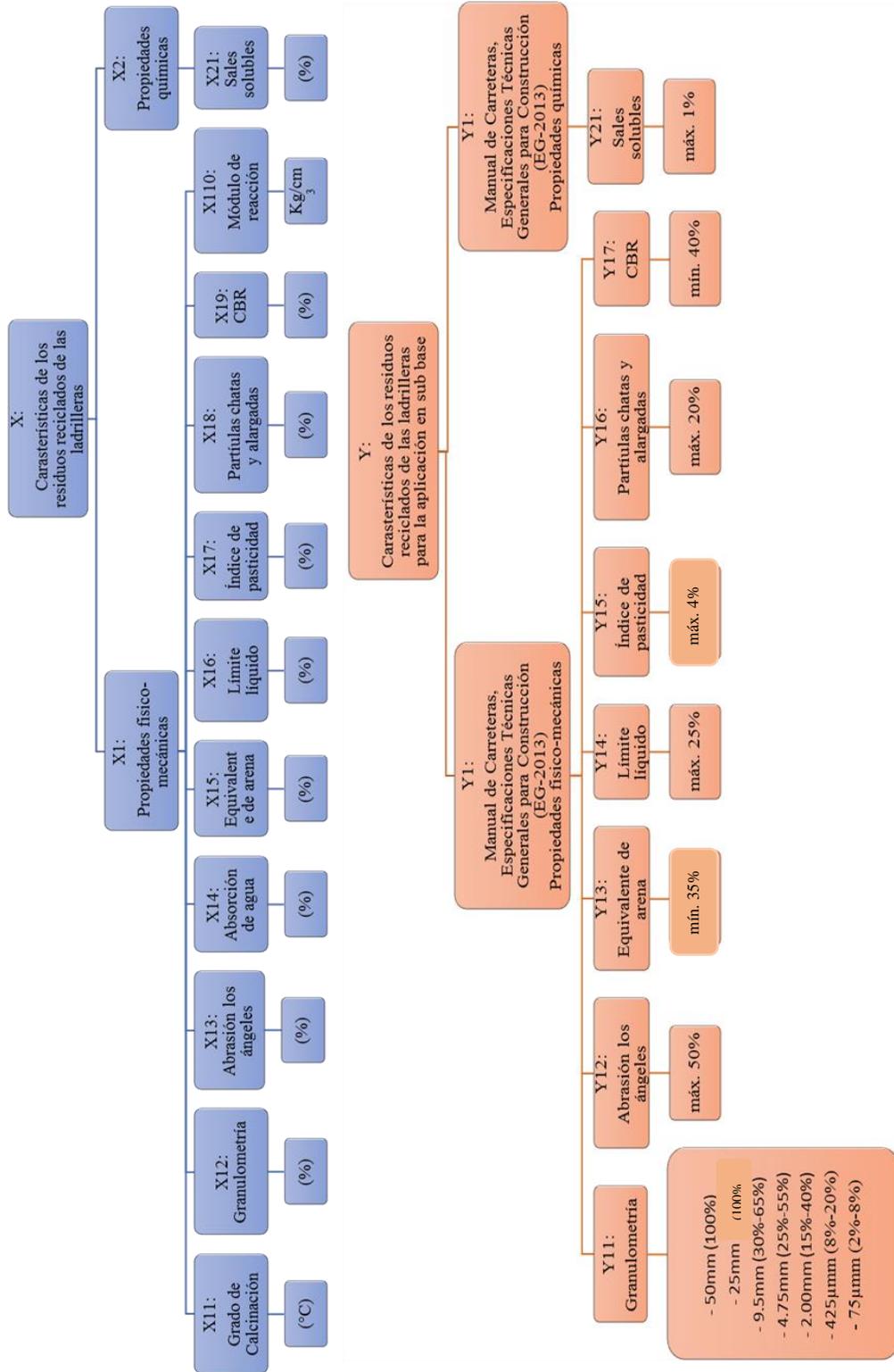
1.5.2 **Identificación de Variables**

- Variable independiente (x) : Características de los residuos reciclados de las ladrilleras de San Jerónimo.
- Variable dependiente (y) : Características de los residuos reciclados de las ladrilleras de San Jerónimo, para la aplicación en sub ase de pavimentos.
- Ámbito Geográfico : Distrito de San Jerónimo - Cusco
- Período : Agosto - octubre del 2018.

En la figura 1 se observa la operacionalización de variables.

1.5.3 Operacionalización de variables

Figura 1 Operacionalización de variables



Fuente: Elaboración propia

Capítulo II: Marco Teórico

2.1 Antecedentes de la investigación

Para el presente estudio se tomará como referencia las siguientes investigaciones:

- **Farhad R., (2014), *Evaluation of Recycled Brick as an Aggregate Material for Shoulder Base Courses*. Departament of Transportation Minnesota, Minesota.**

Tuvo como objetivo evaluar si el ladrillo reciclado era adecuado para su uso en la construcción de carreteras, el rango de muestras de ladrillos obtenidas fue de ocho meses hasta 130 años estos últimos obtenidos de construcciones y demoliciones. Las muestras fueron trituradas y sometidas a tres pruebas (absorción, abrasión y resistencia a la intemperie) los resultados mostraron que la mayoría de ladrillos no cumplió en su totalidad con las especificaciones del MnDOT (Departament of Transportation Minnesota) para agregados de canteras los cuales son: absorción 8.7%, abrasión con 41.6% y la prueba de solidez de sulfato de magnesio cumplió. Los investigadores recomendaron que se permita un máximo de 10% de agregado de ladrillo por masa para aplicación en sub base.

- **Portillo J., Salmerón J., Villatoro R. (2013). *Estudio técnico exploratorio para la utilización de residuos reciclados de concreto, mampostería de bloque de concreto y ladrillo de barro en mezclas de suelo-cemento*. Universidad del Salvador. San Salvador,** tuvo como objetivo conocer las propiedades físicas y mecánicas de los residuos reciclados de concreto, mampostería de bloque de concreto y *ladrillo de barro*, y su utilización en mezclas de suelo-cemento. Las muestras fueron trituradas y sometidas a diferentes pruebas entre las cuales están la gravedad específica, abrasión, límites de Atterberg, proctor modificado y CBR. Los resultados obtenidos fueron:

- La densidad máxima seca fue de 1.404 gr/cm^3 , humedad óptima: 14%, CBR al 95%: 56% y absorción de agua del agregado grueso: 8.94%.
- Los límites de consistencia de los materiales en estudio no son realizables, por carencia de plasticidad de los especímenes.
- Se concluyeron que las propiedades físicas y mecánicas de estos son función directa de la granulometría.
- Además, en base a los resultados que los materiales investigados representan un aporte fundamental al resguardo del medio ambiente ya que su uso permitirá reducir la explotación de canteras.

- **Cameron D., Rahman M., A. M. (2013). *The Use of Recycled Aggregates in Unbound Road Pavements*. University of South Australia (UniSA). School of Natural and Built Environments. Adelaide. Australia**, tuvo como objetivo argumentar la aceptabilidad del uso del agregado de concreto reciclado (RCA) y mampostería de arcilla reciclada (RCM) derivada de la demolición, para pavimentos. Los ensayos realizados fueron: abrasión, permeabilidad, límites de Atterberg, CBR ensayos triaxiales no drenados y pruebas triaxiales de carga repetida para el módulo elástico y la tasa de deformación permanente. Los resultados de las pruebas llevadas a cabo fueron: el RCA se mezcló con un 20% de RCM los resultados obtenidos fueron:

- Límite líquido: 27%, índice plástico: 2%, abrasión los ángeles: 42%, CBR: 80% mínimo. Estas cumplieron con las especificaciones existentes y por lo tanto puede incorporarse en pavimentos de carreteras. En el caso del RCA mezclado con RCM, a medida que aumenta la proporción de RCM, la velocidad de deformación aumenta y el

módulo elástico disminuye, lo que compromete el uso de las mezclas como material de base.

Sin embargo, determinaron que el RCA con hasta 20% de RCM es adecuado para usar como subbase de un pavimento de carretera.

2.2 Bases teóricas - conceptuales

2.2.1 El ladrillo

Según Averardo (2006), el ladrillo es una piedra artificial de forma geométrica, que resulta de la propiedad plástica de la materia prima empleada, la arcilla, que, al moldearse con agua, una vez seca y tras su posterior cocción adquiere una gran dureza y resistencia.

2.2.1.1 Tipos de ladrillos

Existen diferentes variedades de ladrillos según su tamaño, forma y función. Según la Norma E.070 Albañilería, del reglamento nacional de edificaciones las unidades de albañilería para fines estructurales están en la figura 2:

Figura 2 Clases de unidades de albañilería

| CLASES DE UNIDAD DE ALBAÑILERÍA PARA FINES ESTRUCTURALES | | | | | |
|--|--|-------------|--------------|-----------------------|--|
| CLASE | VARIACIÓN DE LA DIMENSION (máxima en porcentaje) | | | ALABEO (máximo en mm) | RESISTENCIA CARACTERÍSTICA A COMPRESION f_b mínimo en MPa (kg/cm ²) sobre área bruta |
| | Hasta 100mm | Hasta 150mm | Más de 150mm | | |
| Ladrillo I | ±8 | ±6 | ±4 | 10 | 4,9 (50) |
| Ladrillo II | ±7 | ±6 | ±4 | 8 | 6,9 (70) |
| Ladrillo III | ±5 | ±4 | ±3 | 6 | 9,3 (95) |
| Ladrillo IV | ±4 | ±3 | ±2 | 4 | 12,7 (130) |
| Ladrillo V | ±3 | ±2 | ±1 | 2 | 17,6 (180) |
| Bloque P ⁽¹⁾ | ±4 | ±3 | ±2 | 4 | 4,9 (50) |
| Bloque NP ⁽²⁾ | ±7 | ±6 | ±4 | 8 | 2,0 (20) |

(1) bloque usado en la construcción de muros portantes

(2) Bloque usado en la construcción de muros no portantes

Fuente: Norma E.070, Reglamento Nacional de Edificaciones

En la actualidad los ladrillos se fabrican de manera mecanizada, de acuerdo a la producción de ladrillos en el Cusco, las variedades existentes en el mercado son las siguientes:

2.2.1.1.1 Ladrillo King Kong

Es un ladrillo de tipo estructural, el cual sirve para realizar muros portantes (muros que soportan cargas), los cuales se detallan en la figura 3.

Figura 3 Tipos de ladrillos king kong

| Características | Productos | | | |
|-------------------------------|--|--|---|--|
| | <i>king kong estandar</i> | <i>king kong 13</i> | <i>Super king kong</i> | <i>King kong caravista</i> |
| <i>Nombre</i> | <i>king kong estandar</i> | <i>king kong 13</i> | <i>Super king kong</i> | <i>King kong caravista</i> |
| <i>Medidas promedio</i> | 9cm x 12cm x 20cm | 9cm x 13cm x 23cm | 9cm x 14cm x 24cm | 9cm x 10cm x 23cm |
| <i>Resistencia</i> | 135 $\frac{Kg}{cm^2}$ | 135 $\frac{Kg}{cm^2}$ | 135 $\frac{Kg}{cm^2}$ | 135 $\frac{Kg}{cm^2}$ |
| <i>Peso unitario promedio</i> | 3 kg | 3.3 kg | 3.5 kg | |
| <i>Figura</i> |  |  |  |  |

Fuente: elaboración propia, datos recuperados de Latesa

2.2.1.1.2 Ladrillo Blocker:

Es un ladrillo de tabiquería para hacer muros no portantes (aquellos que no soportan la carga de techos y esfuerzos laterales y sirven como separadores de ambientes) y en algunos casos también para la utilización de cercos, y existen una variedad de tamaños y pesos (Latesa, 2018), ver figura 4.

Figura 4 Tipos de ladrillos bloquer

| Características | Productos | | |
|-------------------------------|---|--|---|
| | <i>Bloquer 10</i> | <i>Bloquer 12</i> | <i>Bloquer 15</i> |
| <i>Nombre</i> | | | |
| <i>Medidas promedio</i> | 10cm x 20cm x 30cm | 12cm x 20cm x 30cm | 15cm x 20cm x 30cm |
| <i>Peso unitario promedio</i> | 5.6 kg | 4.5 kg | 6.5 kg |
| <i>Figura</i> |  |  |  |

Fuente: Elaboración propia, datos recuperados de Latesa

2.2.2 Componentes del ladrillo

- **Arcilla:** Rhodes (1990), afirma que la arcilla constituye un agregado de minerales y de sustancias coloidales que se han formado mediante la desintegración química de las rocas alúminas. La propiedad coloidal se caracteriza por la facilidad que tiene para unirse y por lo difícil que son para separarlas, teniendo las arcillas un tamaño inferior a los 2 μ m. Para la fabricación de ladrillos el contenido de arcilla es fundamental porque a mayor contenido de arcilla mayor capacidad tendrá de formar un molde.

- **Arena:** La arena resulta de la desintegración natural de rocas, de acuerdo al tipo de roca varia su composición, color y textura sus principales componentes son la sílice y el dióxido de silicio. Teniendo una consistencia no plástica con un tamaño que varía entre 0,06 y 2mm.

- **Agua:** El agua es un compuesto indispensable en la fabricación de ladrillos debido a que este al ser combinado con la arcilla y arena hace que sea manejable. Los fabricantes de ladrillos manejan la cantidad de agua de manera aleatoria y depende del grado de manejabilidad de la pasta para ser moldeada, no teniendo así una cantidad definida. El agua

que utilizan en la fabricación de los ladrillos lo obtienen del sub suelo por medio de pozo, extrayendo el agua con bombas succionadoras.

2.2.3 Aspecto ecológico del proceso productivo del ladrillo.

2.2.3.1 Contaminantes que genera el proceso productivo del ladrillo

Según Halanocca y Huaman (2015), para la fabricación del ladrillo se necesita alcanzar temperaturas entre 900°C a 1000°C, para lo cual se utilizan como combustible el carbón mineral, el aserrín y palos de maderas, los cuales al ser calcinados generan contaminación ambiental produciendo oxido de carbono, dióxido de carbono y dióxido de azufre (CO, CO₂, SO₂) y estos se magnifican por la cantidad de hornos ladrilleros existentes en el distrito de San Jerónimo.

En la fabricación del ladrillo existe un porcentaje promedio de 3.45%¹ de residuos, se pretende dar un valor ecológico reutilizando estos residuos al aprovechar la energía utilizada en su fabricación y contrarrestando la contaminación atmosférica y no solo ser tratado como material de relleno sin ningún fin.

Los aspectos ambientales en la fabricación de ladrillos incluyen:

- Emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera.
- Efectos sobre la calidad del suelo.
- Generación de residuos sólidos.
- Consumo de energía.

2.2.3.2 Impacto de la fabricación de ladrillos al ambiente

Según la figura 5 se determina que el proceso de extracción de materiales genera un impacto alto en la morfología del suelo y en la calidad del ruido. Así también el proceso de

¹ Obtención de datos obtenidos en el ítem 5.1.1 producción y porcentaje de ladrillos por horno.

cocción genera un alto impacto en la calidad del aire debido a la emisión de humos contaminantes.

No obstante, esta actividad de fabricación de ladrillos no genera efluentes de proceso, pero sí residuos sólidos inertes provenientes de una excesiva cocción (residuos sobre coccionados) y la rotura de los ladrillos (residuos coccionados).

Figura 5 Niveles de impacto ambiental producidos por las diferentes etapas del proceso de fabricación del ladrillo

| Fuente de Generación (etapas) | NIVEL DE IMPACTO AMBIENTAL | | | | | |
|-------------------------------|----------------------------|-------|-------|--------------|--------------|--------------|
| | Agua | Aire | Suelo | Ruido | Vibraciones | Residuos |
| Extracción en Canteras | | Medio | Alto | Alto | Bajo | |
| Molienda | | Medio | | Alto | Bajo - Medio | |
| Mezcla | Bajo | Medio | | Medio | Bajo | |
| Moldeo | | | | Bajo | | |
| Secado | | | | Bajo | Bajo | |
| Cocción | | Alto | | Bajo - Medio | Bajo | Bajo - Medio |
| Clasificación | | | | Medio – Alto | | |

Fuente: (Elaboración de límites máximos permisibles de emisiones para la industria la ladrillera, Manuel Casado Piñeiro, 2010).

2.2.3.3 Contaminación atmosférica en la ciudad del Cusco

Según la figura 6, se observa que el segundo mayor contaminante en la cuenca atmosférica del Cusco son las ladrilleras y tejerías, teniendo así niveles elevados de monóxido de carbono producido en la cocción del mismo.

Figura 6 Niveles de emisiones par la cuenca atmosférica del Cusco

| Niveles de Emisiones para la Cuenca Atmosférica del Cusco (Ton/año) | | | | | | |
|--|-----------|------------|------------|------------|-----------|-------------|
| Fuente | CO | SOx | NOx | COV | Pb | PM10 |
| Transporte Vehicular | 6848.9 | 605.3 | 2437.5 | 1264.9 | 30.3 | 148989.4 |
| Ladrilleras y tejerías | 5575.4 | 8.0 | 55.8 | 1831.9 | 0.0 | 1067.3 |
| Viviendas | 3945 | 45.9 | 97.4 | 1994.7 | 0.0 | 650.2 |
| Panadería | 1252.9 | 5.4 | 13.4 | 526.7 | 0.0 | 134.3 |
| Otros | 136 | 35 | 80.5 | 690 | 0.0 | 712.1 |
| Total | 17758.2 | 699.6 | 2684.6 | 6308.2 | 30.3 | 151553.3 |

Fuente: CONAM-PRAL. 2004

2.3 Teorías de la estructura de pavimentos

2.3.1 Pavimento

El pavimento es una estructura horizontal compuesta por diferentes capas entre ellas la sub base, base y carpeta de rodadura. La estructura del pavimento se apoya sobre la sub rasante, su función principal es de soportar cargas (estáticas o dinámicas) para un periodo de diseño. El diseño del pavimento determina los espesores de las capas. Los pavimentos se dividen en flexible, semirrígido y rígido.

2.3.1.1 Pavimentos flexibles

Compuestos por capas granulares (sub base y base) y una superficie de rodadura bituminosa en frío o una mezcla asfáltica en caliente.²

² Manual de carreteras, suelos, geología, geotecnia y pavimentos, sección suelos y pavimentos.

2.3.1.2 Pavimentos semirrígidos

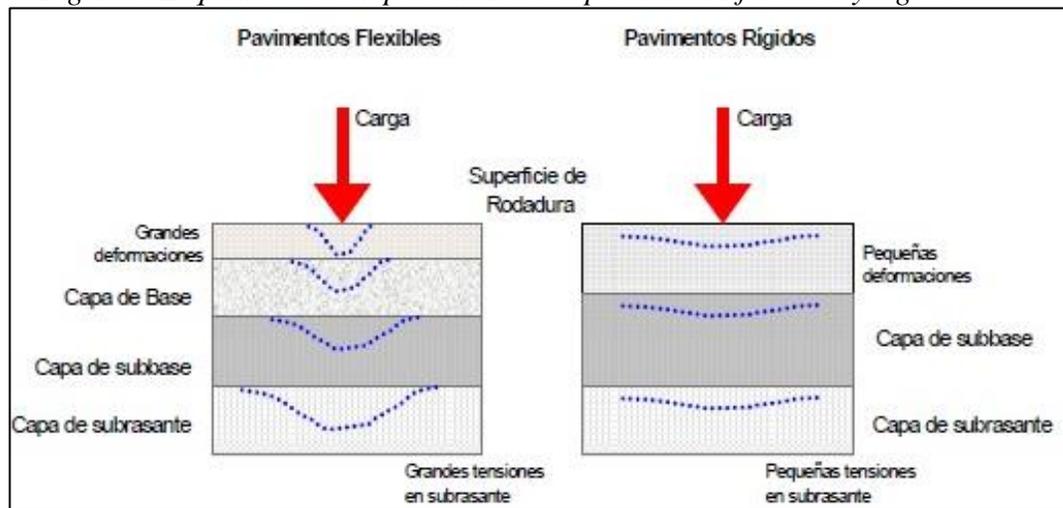
Conformados por capas asfálticas (base asfáltica y carpeta asfáltica en caliente o carpeta asfáltica en caliente sobre base tratada con cemento o cal) también se incluye los pavimentos adoquinados.³

2.3.1.3 Pavimentos Rígidos

Conformados por una losa de concreto de cemento hidráulico y una subbase granular para uniformizar las características de cimentación de la losa.⁴

En la figura 7 se observa la diferencia del comportamiento de la estructura de un pavimento rígido y flexible al aplicar carga, esto se evidencia con la deformación en las diferentes capas. Se observa que las deformaciones en el pavimento flexible son mayores a comparación del pavimento rígido.

Figura 7 Esquema del comportamiento de pavimentos flexibles y rígidos

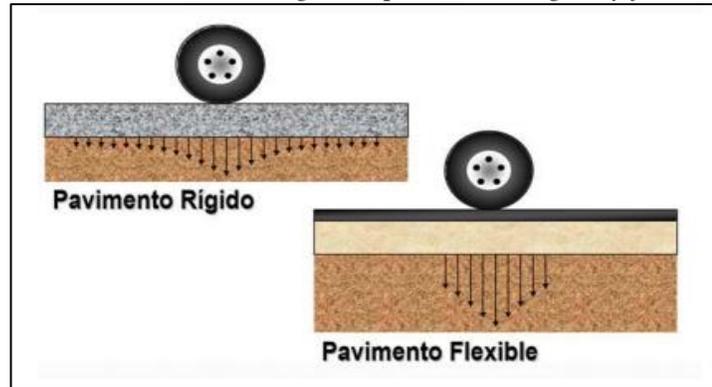


Fuente: (Minaya y Ordoñez,2006).

^{3,4} Manual de carreteras, suelos, geología, geotecnia y pavimentos, sección suelos y pavimentos.

En la figura 8 se observa la diferencia de transmisión de carga que existe entre un pavimento rígido y flexible. Se observa que la transmisión de cargas en un pavimento rígido es mejor debido a la rigidez de su carpeta de rodadura a comparación de un pavimento flexible.

Figura 8 Transmisión de cargas en pavimento rígido y flexible



Fuente: (Pavimentos, Giordani y Leone).

2.3.2 Carpeta de rodadura

Es la capa superior del pavimento que sostiene directamente el tránsito, protege las capas internas del pavimento y actúa como impermeabilizante evitando filtraciones pluviales que saturarían las capas internas.

2.3.3 Base

Es la capa colocada debajo de la carpeta de rodadura y su función primordial es sostener, distribuir y transmitir las cargas a la sub base y esta a su vez a la sub rasante y está constituido por un agregado de buena calidad.

2.3.4 Sub base

Según Sánchez (2006), la sub base es la capa que se encuentra entre la base y la sub rasante de un pavimento flexible. Debido que está sometida a menores esfuerzos que la base, su calidad puede ser inferior y generalmente está constituida por materiales locales, granulares

o marginales. El material que se coloca entre al sub rasante y losas de un pavimento rígido también se denomina sub base.

Entre las funciones principales de la sub base son:

- Debido a que es un material de menor calidad, este ayuda a transformar un cierto espesor de la capa de base a un espesor equivalente de material de subbase.
- Es una capa anticontaminante debido a que se encuentra entre la sub rasante y base, está ayuda a evitar la ascensión de finos a la base.
- Capa resistente, la sub base debe resistir esfuerzos transmitidos por las cargas que producen los vehículos a través de las capas superiores para poder transmitirlos a niveles adecuados a la sub rasante, además de controlar los posibles cambios volumétricos de este.
- Capa drenante, controla la ascensión capilar del agua proveniente del nivel freático cercano protegiendo el pavimento contra hinchamientos.⁵

2.3.5 Materiales usados en sub base

Según el ministerio de transporte y comunicaciones los materiales utilizados en sub base de pavimentos con generalmente granulares, estos pueden ser obtenidos de forma natural o procesados, son provenientes de canteras u otras fuentes Según la procedencia de los materiales pueden ser:

2.3.5.1 *Materiales naturales*

Son las arenas, gravas y limos, así como rocas muy alteradas y fragmentadas, que al extraerlos quedan sueltos o pueden disgregarse mediante el uso de maquinaria y que,

⁵ *Pavimentos*, (06/2011). Descargado de <http://apuntesingenierocivil.blogspot.com>.

por cumplir con los requisitos de calidad establecidos en la norma EG-2013, no requieren de tratamiento mecánico alguno para ser utilizados.

2.3.5.2 *Materiales triturados*

Son los poco o nada cohesivos, como mezclas de gravas, arenas y limos, que al extraerlos quedan sueltos o pueden ser disgregados y que, para ser utilizables, requieren un tratamiento mecánico de trituración, con el equipo adecuado, para aprovechar las partículas mayores que el tamaño máximo establecido y satisfacer la composición granulométrica.⁶

2.3.5.3 *Materiales mezclados*

Son los que se obtienen mediante la mezcla de dos o más de los materiales a que se refieren los materiales antes mencionados, en las proporciones necesarias para satisfacer los requisitos de calidad establecidos en la norma EG-2013. (MATERIALES, 2018)

2.4 Requisitos de los materiales para sub base granular.

Según el Manual de Carreteras “Especificaciones técnicas Generales para Construcción EG-2013” del Ministerio de Transporte y Comunicaciones sección 402 Subbases Granulares, los requisitos mínimos para materiales de sub base granular son los mostrados en las tablas 1 y 2

^{3,6} Características de los materiales. Recuperado de: <https://docplayer.es>

Tabla 1
Requerimiento granulométrico para sub base granular

| Tamiz | Porcentaje que Pasa en Peso | | | |
|-------------------------|-----------------------------|-------------|-------------|-------------|
| | Gradación A ¹ | Gradación B | Gradación C | Gradación D |
| 50 mm. (2") | 100 | 100 | - | - |
| 25 mm. (1") | - | 75-95 | 100 | 100 |
| 9,5 mm. (3/8 ") | 30-65 | 40-75 | 50-85 | 60-100 |
| 4,75 mm. (N.º 4) | 25-55 | 30-60 | 35-65 | 50-85 |
| 2,0 mm. (N.º 10) | 15-40 | 20-45 | 25-50 | 40-70 |
| 425 µm. (N.º 40) | 8-20 | 15-30 | 15-30 | 25-45 |
| 75 µm. (N.º 200) | 2-8 | 5-15 | 5-15 | 8-15 |

¹La curva de Gradación “A” deberá emplearse en zonas cuya altitud sea igual o superior a 3000 msnm
Fuente: Manual de carreteras, especificaciones técnicas generales para la construcción EG-2013.

Tabla 2
Requerimiento de ensayos especiales para sub base de pavimentos

| Ensayo | Norma MTC | Norma ASTM | Norma AASHTO | Requerimientos Altitud | |
|--------------------------------------|-----------|------------|--------------|------------------------|--------------|
| | | | | < 3.000 msnm | ≥ 3.000 msnm |
| Abrasión Los Ángeles | MTC E 207 | C 131 | T 96 | 50 % máx. | 50 % máx. |
| CBR¹ | MTC E 132 | D 1883 | T 193 | 40 % mín. | 40 % mín. |
| Límite Líquido | MTC E 110 | D 4318 | T 89 | 25% máx. | 25% máx. |
| Índice de Plasticidad | MTC E 111 | D 4318 | T 90 | 6% máx. | 4% máx. |
| Equivalente de Arena | MTC E 114 | D 2419 | T 176 | 25% mín. | 35% mín. |
| Sales Solubles | MTC E 219 | - | - | 1% máx. | 1% máx. |
| Partículas Chatas y Alargadas | - | D 4791 | - | 20% máx. | 20% máx. |

¹Referido al 100% de la máxima densidad seca y una penetración de Carga de 0.1” (2.5 mm)
(Fuente: Manual de Carreteras, Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción EG-2013).

2.4.1 Correlación del módulo de reacción y el valor de CBR según tipo de suelo.

En la tabla 3 se observan los valores de densidad máxima seca, CBR y módulo de reacción (k) según el tipo de suelo, en el cual se tiene valores de k:

- ✓ Para gravas varían en el rango de 300-400 pci.
- ✓ Para arenas varían entre 150 a 400 pci.

- ✓ Para suelos con alto contenido de finos con características de material limoso los valores de k varían en el rango de 25 a 220 pci.
- ✓ Para suelos finos con características de arcilla plástica el rango de variación es de 25 a 255pci.

Los valores de k altos (>150 pci) indican que son suelos con buena capacidad portante por tanto tiene poca deformación, en cambio para valores entre 25 a 150 pci nos indican que son suelos con capacidad portante baja por tanto son suelos más deformables.

*Tabla 3
Clasificación de suelos según la AASHTO y rangos de valores de K recomendados para varios tipos de suelos.*

| Clasificación (AASHTO) | Descripción | Clasificación Unificada | Densidad seca (kg/m3) | CBR (%) | K (pci) |
|--|---|--------------------------------|------------------------------|----------------|----------------|
| <i>Suelos Granulares</i> | | | | | |
| A-1-a bien gradado | | GW | 2000-2240 | 60-80 | 300-450 |
| A-1-a mal gradado | Grava Arena gruesa | GP | 1920-2080 | 35-60 | 300-400 |
| A-1-b | | SW | 1760-2080 | 20-40 | 200-400 |
| A-3 | Arena fina | SP | 1680-1920 | 15-25 | 150-300 |
| <i>Suelos A-2 (suelos con alto contenido de finos)</i> | | | | | |
| A-2-4 gravoso | Grava limosa | GM | 2080-2320 | 40-80 | 300-500 |
| A-2-5 gravoso | Grava areno limoso | | | | |
| A-2-4 arenoso | Arena limosa | SM | 1920-2160 | 20-40 | 300-400 |
| A-2-5 arenoso | Arena gravo limoso | | | | |
| A-2-6 gravoso | Grava arcillosa | GC | 1920-2240 | 20-40 | 200-450 |
| A-2-7 gravoso | Grava areno arcillosa | | | | |
| A-2-6 arenoso | Arena arcillosa | SC | 1680-2080 | 10-20 | 150-350 |
| A-2-7 arenoso | Arena gravo arcillosa | | | | |
| <i>Suelos Finos</i> | | | | | |
| A-4 | Limo, Mezcla | ML, OL | 1440-1680 | 4-8 | 25-165* |
| | limo/arena/grava | | 1600-2000 | 5-15 | 40-220* |
| A-5 | Limo mezclado | MH | 1280-1600 | 4-8 | 25-190* |
| A-6 | Arcilla plástica | CL | 1600-2000 | 5-15 | 25-255* |
| A-7-5 | Arcilla elástica moderadamente plástica | CL, OL | 1440-2000 | 4-5 | 25-215* |
| A-7-6 | Arcilla elástica altamente plástica | CH, OH | 1280-1760 | 3-5 | 40-220* |

(*) Los valores de k de los suelos finos depende del grado de saturación
Fuente: Guía AASHTO-Parte II-1998

2.5 Propiedades para sub base de pavimentos de la cantera Sencca - Cusco.

El material de la cantera de Sencca es usualmente utilizado en sub base de pavimentos debido a sus características físico-mecánicas. La elección de la cantera de Sencca fue porque la mayoría de proyectos de pavimentación ejecutados, según los resultados de las encuestas realizadas, en la ciudad del Cusco usaban este material debido a que sus características físico-mecánicas y químicas, las cuales se detallan en la tabla 4.

Tabla 4
Propiedades físico-mecánicas y químicas del material de Sencca

| Propiedad | Valor |
|--|--------------|
| Contenido de humedad natural (%) | 3.63% |
| Límite líquido (%) | 25% |
| Límite plástico (%) | 16.00% |
| Análisis granulométrico | Cumple |
| Clasificación de suelos SUCS | GP-GC |
| Clasificación de suelos AASHTO | A-2-4 (0) |
| Peso específico del agregado grueso (gr/cm³) | 2.57% |
| Contenido óptimo de humedad | 6.05% |
| Densidad seca máxima (gr/cm³) | 2.27% |
| CBR | 51.28% |
| Abrasión los Ángeles (%) | 27.92% |
| Equivalente de arena (%) | 35.74% |
| Sales Solubles (%) | 0.11% |

Fuente: “Mejoramiento de la Transitabilidad Vehicular y Peatonal de las Vías No Pavimentadas de la margen derecha del Rio Huatanay, entre la APV. Agua Buena y la APV. Monterey del Distrito de San Sebastián, Cusco-Cusco”, resultados del ensayo de laboratorio. Anexo C.

Los ensayos realizados y resultados obtenidos, se extrajeron del informe de laboratorio del expediente técnico: **“Mejoramiento de la Transitabilidad Vehicular y Peatonal de las Vías No Pavimentadas de la margen derecha del Rio Huatanay, entre la APV. Agua Buena y la APV. Monterey del Distrito de San Sebastián, Cusco-**

Cusco”, realizado por el laboratorio de suelos y materiales **PRO&CON SILVER S.C.R.L.**; cuyo solicitante fue la Municipalidad distrital de San Sebastián.

2.6 Marco conceptual

- Según Eritja (1994) *el residuo*, es todo bien u objeto que se obtiene a la vez que el producto principal, e incluye tanto los que han devenido inaprovechable (desechos), como los que simplemente subsisten después de cualquier tipo de proceso.
- *Cocción*, acción de elevar la temperatura en la cual pierde humedad y adquiere determinadas propiedades.
- Según Piñeira (2010), *los residuos de ladrillos coccionados*, son aquellos fragmentos de ladrillos, dañados en el transporte o manipulación, que alcanzan la temperatura de cocción entre 700°C y 1000°C. Se caracterizan por ser de color naranja.
- Según Piñeira (2010), *los residuos de ladrillos sobre coccionados*, son aquellos ladrillos o fragmentos de ladrillos, que superan la temperatura de cocción de 1000°C, estos ladrillos se encuentran en contacto directo con el fuego. Se caracterizan por ser de color negro.
- Según Regal (2005), *limo*, su tamaño oscila entre 0.002 y 0.06mm tiene poca fricción interna. En los suelos bien graduados rellena los vacíos de la arena, actuando como material de apoyo y en cierto modo comunica fricción al conjunto haciéndolo más estable. Tiene poca cohesión y gran capilaridad; es compresivo y expansivo; queda compacto cuando está seco y se expande cuando el agua capilar vence a la cohesión.

- Según Braja (1985), **los suelos raros** son aquellos suelos que no tienen una curva definida de compactación, difícil cálculo del contenido óptimo de humedad al realizar el ensayo de compactación.

Capítulo III: Metodología de la Investigación

3.1 Enfoque, nivel y diseño de la Investigación

3.1.1 Enfoque de la investigación

Según el enfoque, la investigación es **cuantitativa** porque los resultados se obtuvieron mediante fórmulas, cuyos datos se obtuvieron de ensayos de laboratorio, cuadros estadísticos y comparaciones, medibles y expresados en números.

3.1.2 Nivel de estudio

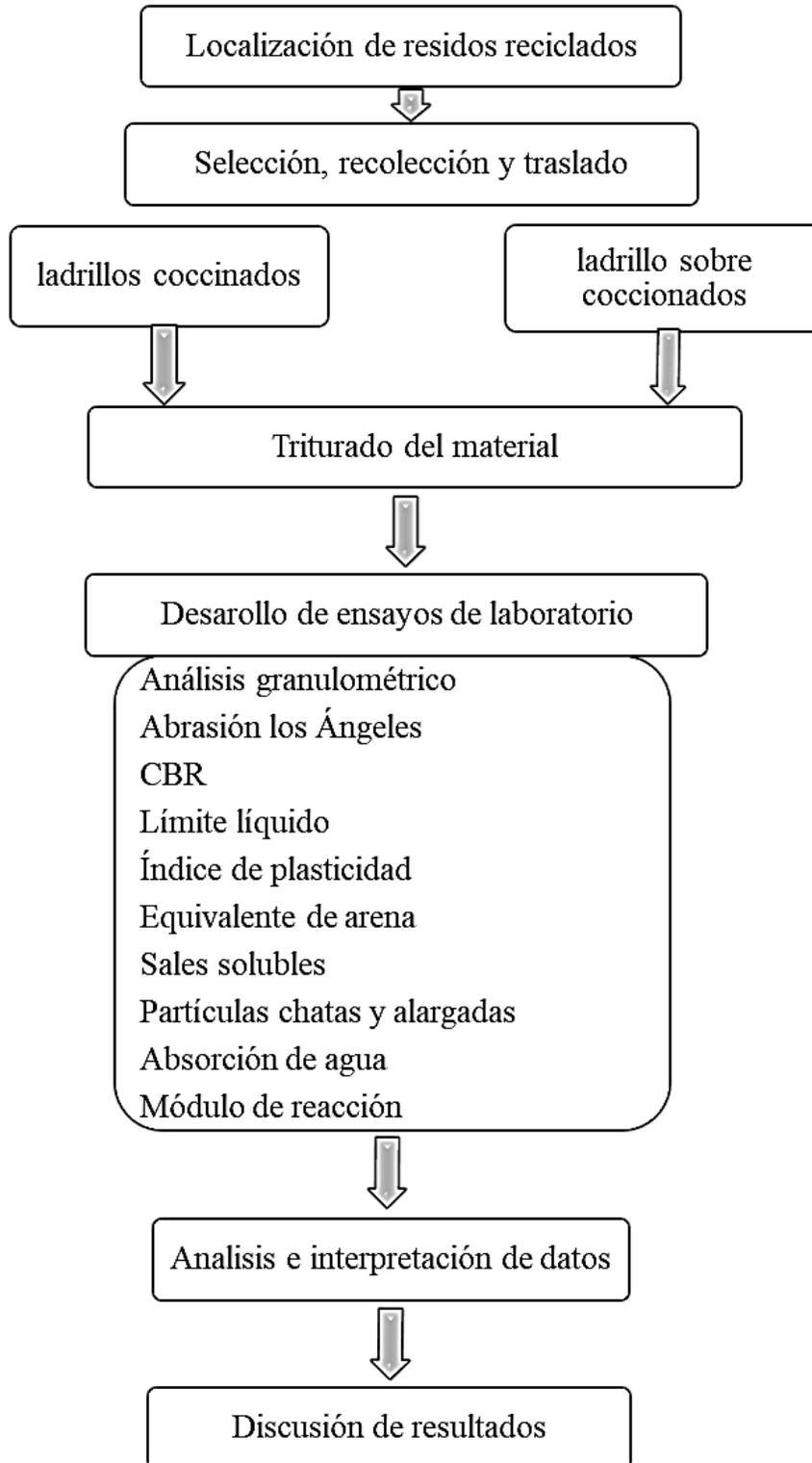
El tema de investigación de los residuos reciclados de ladrillos para su aplicación en sub base de pavimentos es de nivel **exploratorio** debido a que no se cuenta con antecedentes referidos a este tema, por lo que se realizaron encuestas, visitas de campo, ensayos de laboratorio, análisis e interpretación de resultados, etc.

3.1.3 Diseño de investigación

Según el diseño, la investigación es **experimental** porque se realizaron ensayos técnicos de laboratorio evaluándose las características físico-mecánicas y químicas de los residuos reciclados de las ladrilleras para la aplicación en sub base de pavimentos como son el análisis granulométrico, abrasión, CBR, límites de consistencia, equivalente de arena, sales solubles, partículas chatas y largadas, absorción de agua y módulo de reacción (desarrollados en el capítulo IV: Ensayos de laboratorio) y encuestas para obtener los resultados requeridos.

Para desarrollar la investigación se sigue un esquema general, la que sirve de guía para la presente investigación. A continuación, se desarrolla el esquema propuesto, ver figura 9:

Figura 9 Esquema del diseño de investigación



Fuente: Elaboración propia

I. Localización

Se procedió a la localización las ladrilleras de donde se obtuvo el material para la realización de la investigación. Las ladrilleras se encuentran localizadas en el distrito de San Jerónimo sector Sucso Auccaylle.

II. Selección, recolección y traslado

La recolección del material fue de manera manual. La muestra (material coccionado y sobre coccionado) debió estar libre de material orgánico presentando una superficie mínima del 30% de su tamaño original.

Una vez recolectadas se procedió el traslado al lugar donde estaba ubicada la máquina trituradora (parque industrial).

III. Triturado de residuos de ladrillos

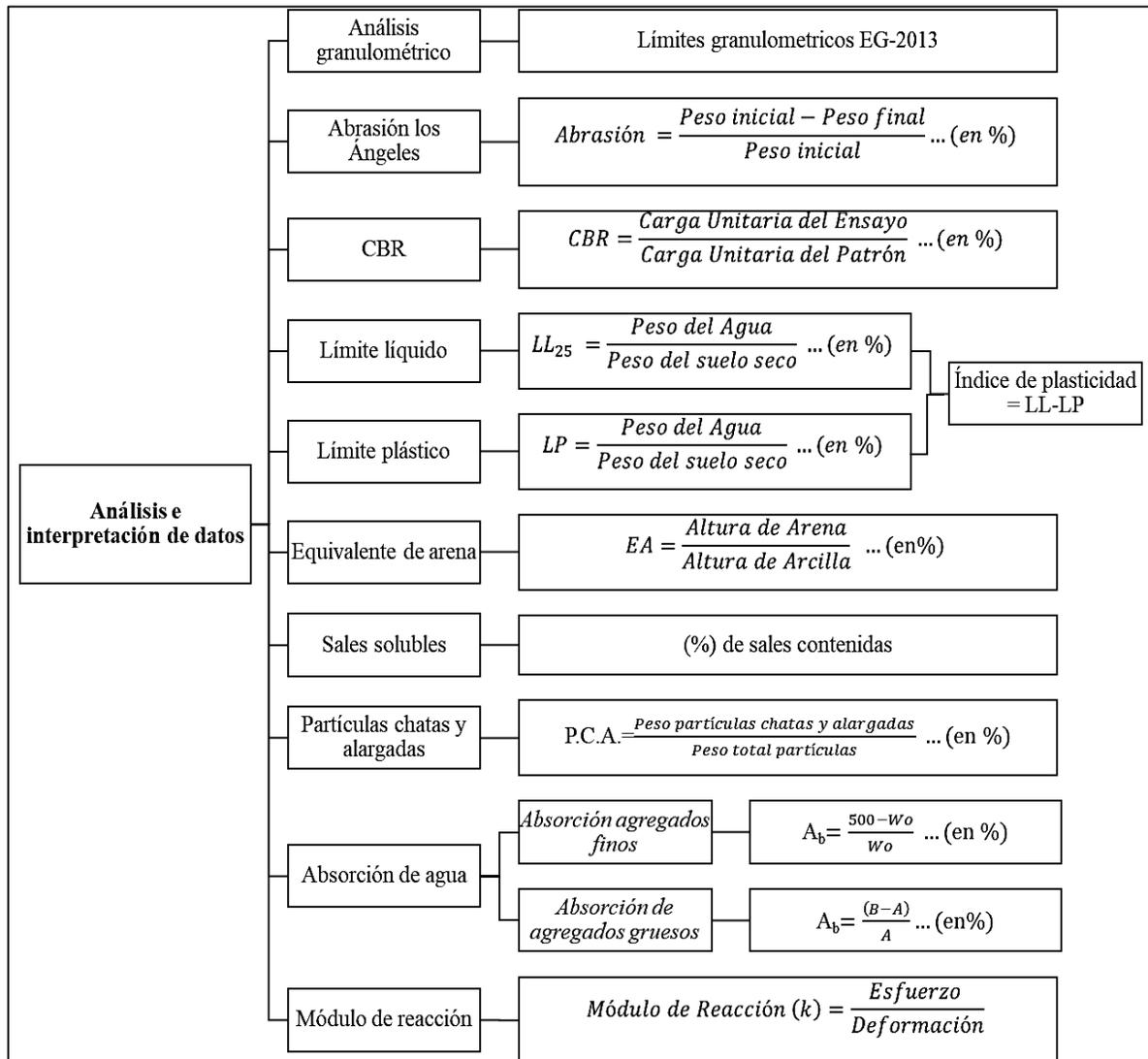
Debido a las características de la trituradora la cual solo admitía tamaños menores a diámetros de cuatro pulgadas, se tuvo que realizar una primera fragmentación manual con la ayuda de una comba (ver anexo E: fotografía 2), para luego ser introducido mediante paleo a la tolva de alimentación. De acuerdo a las características de la chancadora el tamaño máximo nominal obtenido fue de media pulgada (1/2”).

El material obtenido fue recogido, almacenado e identificado en costales, para su transporte al laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil.

IV. Desarrollo de ensayos de laboratorio

Después de la trituración de las muestras representativas se procedió a la realización de los ensayos, ver figura 10:

Figura 10 Proceso de ensayos de laboratorio



Nota: LL₂₅: valor de límite líquido para 25 golpes de la cuchara de Casagrande; LP: límite plástico; EA: equivalente de arena; P.C.A.: partículas chatas y alargadas; A_b: Absorción; W_o: peso material fino seco; B: peso material saturado superficialmente seco; A: peso material seco. Fuente: Elaboración propia

V. Análisis e interpretación de la información

Para el análisis e interpretación de resultados se recurrió a ensayos de laboratorio, entrevistas, recolección de información, consulta a profesionales, para la interpretación se contrastaron los resultados según los parámetros del Manual de

Carreteras, Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013 (ver tablas 1 y 2). Para obtener los resultados de los ensayos de laboratorio se recurrieron a las fórmulas propias de cada ensayo como se aprecia en la figura 10.

3.1.4 Unidad de análisis

En esta investigación las unidades de análisis fueron los residuos del ladrillo de las ladrilleras de San Jerónimo tales como:

- Ladrillos coccionados dañados.
- Ladrillos sobre coccionados.

3.1.5 Población de Estudio

Según Halanocca y Huaman (2015) existe un total de 194 empresas ladrilleras en el sector de Sucso Auccaylle en el distrito de San Jerónimo.

3.1.6 Tamaño de la muestra

3.1.6.1 *Tamaño de la muestra para el número de ladrilleras a evaluar*

Según el muestreo probabilístico la fórmula para el cálculo del tamaño de la muestra “n” de población finita, es la siguiente:

$$n = \frac{N \times Z^2 \times p \times q}{d^2 \times (N - 1) + Z^2 \times p \times q}$$

Donde:

n = *Tamaño de la muestra.*

N = *Tamaño de la población*

Z = *Nivel de confianza.*

p = *Probabilidad de éxito ó proporción esperada.*

q = $1 - p$ = *Probabilidad de fracaso.*

d = *Error de estimación.*

Para la presente investigación se tomaron los siguientes valores:

$$n = ?$$

$$N: 194$$

$$Z = 0.95$$

$$p = 0.5$$

$$q = 1 - p = 0.5$$

$$e = 10 \%$$

$$n = \frac{194 \times 0.95^2 \times 0.5 \times 0.5}{0.1^2 \times (194 - 1) + 0.95^2 \times 0.5 \times 0.5}$$

$$n = 20 \text{ ladrilleras}$$

El valor de n fue de 20 ladrilleras.

Se realizó un estudio preliminar (entrevistas y encuestas) para agrupar las ladrilleras de estudio (20) sin afectar el tamaño muestral, es decir, agruparlas según rango de dosificación y tiempo de cocción, y de cada conjunto obtener una ladrillera representante con las mismas características del grupo para ser ensayada.

- Se obtuvieron cuatro grupos, de cada grupo se eligió una ladrillera para ser estudiada (Anexo A-3: Resumen de datos de la encuesta N° 01), quedando seleccionadas las siguientes empresas ladrilleras:
 - ✓ **Grupo I:** *Ladrillera Mirador:* denominado “M1” para muestra coccionada y “M1-SC” para muestra sobre coccionada.
 - ✓ **Grupo II:** *Ladrillera Latesan:* denominado “M1” para muestra coccionada y “M1-SC” para muestra sobre coccionada.

- ✓ **Grupo III:** *Ladrillera Yuraqñahui*: denominado “M1” para muestra coccionada y “M1-SC” para muestra sobre coccionada.
- ✓ **Grupo IV:** *Ladrillera Latesa*: denominado “M1” para muestra coccionada y “M1-SC” para muestra sobre coccionada.
- Cabe recalcar que la muestra M3 proviene de ladrillos tipo bloquer.

3.1.6.2 *Tamaño de la muestra requerida a ser ensayada*

La cantidad de residuos fue de dos costales de 80 kg por ladrillera (ver tabla 5), esta cantidad se estimó de acuerdo a los ensayos (CBR: 20 kg; proctor modificado: 30 kg; abrasión: 10 kg; granulometría:4kg) aproximadamente.

Tabla 5 Cantidad de muestra según ladrillera

| Material | | |
|------------------------------|-------------------|-------------------------|
| Grupos | Coccionado | Sobre coccionado |
| Ladrillera Mirador | 80 kg | 80 kg |
| Ladrillera Latesan | 80 kg | 80 kg |
| Ladrillera Yuraqñahui | 80 kg | 80 kg |
| Ladrillera Latesa | 80 kg | 80 kg |
| Sub Total | 320 kg | 320 kg |
| Total | 640 kg | |

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 6 se observa la cantidad de ensayos realizados por tipo de muestra, para la muestra coccionada y sobre coccionada se realizaron 45 ensayos para cada una, siendo así el número total de ensayos realizados 90.

Tabla 6
Cantidad de Ensayos por tipo de muestra

| Ensayo | Nro de ensayos por tipo de residuo de ladrillo | | | | | | | | | |
|---|--|----|----|----|-----------|-----------------------------|-------|-------|-------|-----------|
| | Ladrillos coccionados | | | | | Ladrillos sobre coccionados | | | | |
| | M1 | M2 | M3 | M4 | Sub total | M1-SC | M2-SC | M3-SC | M4-SC | Sub total |
| Analisis granulométrico | 1 | 1 | 1 | 1 | 4 | 1 | 1 | 1 | 1 | 4 |
| Abrasión los Angeles | 1 | 1 | 1 | 1 | 4 | 1 | 1 | 1 | 1 | 4 |
| CBR | 1 | 1 | 1 | 1 | 4 | 1 | 1 | 1 | 1 | 4 |
| Contenido de humedad natural | 1 | 1 | 1 | 1 | 4 | 1 | 1 | 1 | 1 | 4 |
| Proctor modificado | 1 | 1 | 1 | 1 | 4 | 1 | 1 | 1 | 1 | 4 |
| Límite líquido | 1 | 1 | 1 | 1 | 4 | 1 | 1 | 1 | 1 | 4 |
| Límite plástico | 1 | 1 | 1 | 1 | 4 | 1 | 1 | 1 | 1 | 4 |
| Equivalente de arena | 1 | 1 | 1 | 1 | 4 | 1 | 1 | 1 | 1 | 4 |
| Sale solubles | 1 | 1 | 1 | 1 | 4 | 1 | 1 | 1 | 1 | 4 |
| Partículas chatas y alargadas | 1 | 1 | 1 | 1 | 4 | 1 | 1 | 1 | 1 | 4 |
| Absorción | 1 | 1 | 1 | 1 | 4 | 1 | 1 | 1 | 1 | 4 |
| Módulo de reacción | | | 1 | | 1 | | | 1 | | 1 |
| Nro total de ensayos realizados por tipo de residuo de ladrillo | | | | | 45 | | | | | 45 |
| Nro total de ensayos realizados | | | | | | | | | | 90 |

Fuente: Elaboración propia

3.1.7 Técnicas de recolección de datos e información

Para la recolección de datos e información se recurrió a:

3.1.7.1 Fuentes de información primaria

Son las que proporcionan datos nuevos, originales y directos, las que no remiten a otras fuentes, las cuales fueron:

3.1.7.1.1 Visitas, entrevistas y encuestas

Se realizaron entrevistas y/o encuestas con el fin de obtener información sobre la cantidad de residuos de ladrillos (ver anexo A-1: Modelo de encuesta N° 01).

Adicionalmente se realizaron entrevistas a profesionales del rubro de la construcción (ingenieros civiles) que tengan experiencia en la ejecución de obras de pavimentación, con el fin de conocer la opinión sobre el posible uso de este material en obra, (ver anexo A-2: Modelo de encuesta N° 02).

3.1.7.2 Fuente de información secundaria.

Se empleó libros, páginas web, revistas, tesis de investigación, manuales, videos, etc. que ayudaron a complementar la presente tesis.

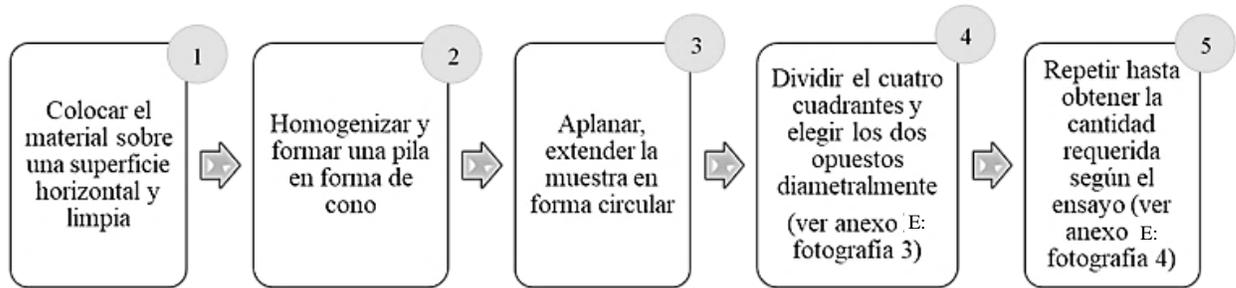
Capítulo IV: Determinación de las características físico-mecánicas y químicas de los residuos reciclados de las ladrilleras

4.1 Obtención en laboratorio de muestras representativas (Cuarteo).

Según el manual de ensayos de materiales MTC-E 105⁷, Previo a cada ensayo se procedió con la obtención de la muestra representativa por cuarteo, se presenta el diagrama

1:

Diagrama 1 Obtención de muestra representativa



Fuente: Elaboración propia

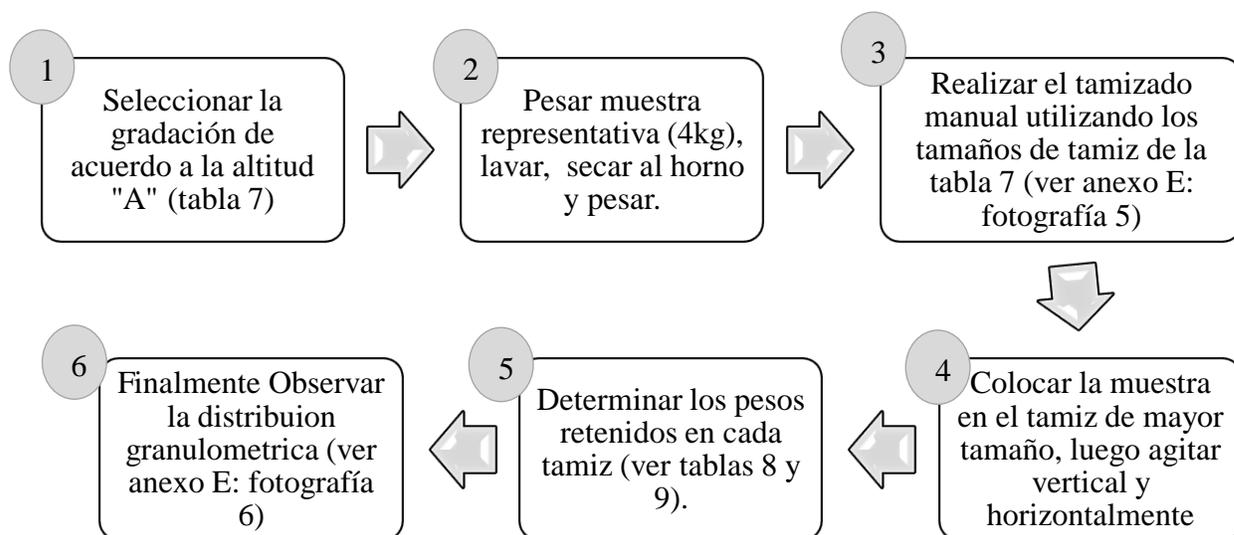
4.2 Análisis Granulométrico

Según el manual de ensayos de materiales MTC E-204⁸ para la realización del ensayo se siguió los pasos detallados en el diagrama 2.

⁷ SUELOS: Obtención en laboratorio de muestras representativas (cuarteo)

⁸ AGREGADO: Análisis granulométrico de agregados gruesos y finos

Diagrama 2 Ensayo de análisis granulométrico



Fuente: Elaboración propia

Tabla 7 Requerimientos granulométricos para sub base granular

| Tamiz | Porcentaje que Pasa en Peso | | | |
|-------------------------|-----------------------------|-------------|-------------|-------------|
| | Gradación A ¹ | Gradación B | Gradación C | Gradación D |
| 50 mm. (2") | 100 | 100 | - | - |
| 25 mm. (1") | - | 75-95 | 100 | 100 |
| 9,5 mm. (3/8 ") | 30-65 | 40-75 | 50-85 | 60-100 |
| 4,75 mm. (N.º 4) | 25-55 | 30-60 | 35-65 | 50-85 |
| 2,0 mm. (N.º 10) | 15-40 | 20-45 | 25-50 | 40-70 |
| 425 µm. (N.º 40) | 8-20 | 15-30 | 15-30 | 25-45 |
| 75 µm. (N.º 200) | 2-8 | 5-15 | 5-15 | 8-15 |

¹ mayor a los 3000 m.s.n.m. Fuente: Elaboración propia, recuperado de ASTM D-1241

Tabla 8
Datos del ensayo granulométrico, muestras de residuos de ladrillo coccionado

| ABERTURA (mm) | | PESO RETENIDO (M1) en (gr) | PESO RETENIDO (M2) en (gr) | PESO RETENIDO (M3) en (gr) | PESO RETENIDO (M4) en (gr) |
|----------------|--------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| 2" | 50 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1" | 25 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 3/8" | 9.5 | 787.14 | 869.99 | 695.11 | 920.95 |
| N° 4 | 4.75 | 798.64 | 676.17 | 421.06 | 681.72 |
| N°10 | 2 | 201.74 | 351.5 | 359.88 | 400.07 |
| N°40 | 0.425 | 147.84 | 243.53 | 206.68 | 212.63 |
| N°200 | 0.075 | 131.01 | 144.61 | 94.88 | 152.28 |
| Cazuela | - | 29.56 | 28.17 | 23.01 | 4.28 |
| Lavado | | 34.35 | 40.53 | 31.02 | 54.82 |

Nota: los cálculos y resultados de los datos mostrados en la tabla 8 se detallan en el Anexo B-2.1: Análisis granulométrico “muestra coccionada”

Fuente: Elaboración propia

Tabla 9
Datos del ensayo granulométrico, muestras de residuos de ladrillo sobre coccionado (SC)

| TAMIZ ABERTURA (mm) | | PESO RETENIDO (M1-SC) en (gr) | PESO RETENIDO (M1-SC) en (gr) | PESO RETENIDO (M1-SC) en (gr) | PESO RETENIDO (M1-SC) en (gr) |
|------------------------|--------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| 2" | 50 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1" | 25 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 3/8" | 9.5 | 941.03 | 679.05 | 904.54 | 796.84 |
| N.° 4 | 4.75 | 696.59 | 499.2 | 644.36 | 507.37 |
| N.° 10 | 2 | 408.8 | 260.53 | 307.94 | 331.54 |
| N.° 40 | 0.425 | 217.27 | 152.76 | 204.17 | 179.86 |
| N.° 200 | 0.075 | 155.6 | 109.4 | 143.54 | 126.44 |
| Cazuela | - | 15 | 9.19 | 28.72 | 22.65 |
| Lavado | | 45.38 | 33.26 | 34.32 | 32.88 |

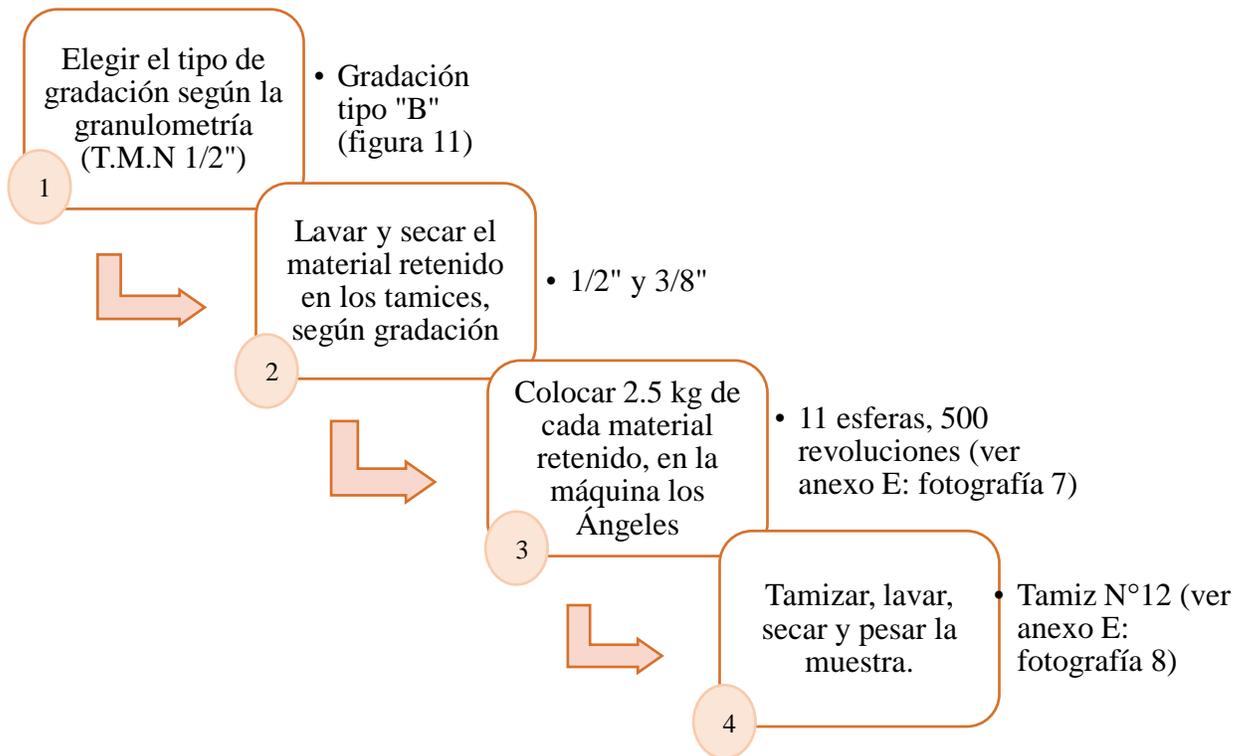
Nota: los cálculos y resultados de los datos mostrados en la tabla 9 se detallan en el Anexo B-2.2: Análisis granulométrico “muestra sobre coccionada”

Fuente: Elaboración propia

4.3 Abrasión los ángeles (L.A.) al desgaste de los agregados de tamaños menores de 37,5 mm (1 1/2”), referencia normativa MTC E – 207

Según el manual de ensayo de materiales MTC E-207⁹ Para la realización del ensayo se siguió los pasos detallados en el diagrama 3:

Diagrama 3 Ensayo de Abrasión los Ángeles



Fuente: Elaboración propia

⁹ AGREGADO: Abrasión los ángeles (L.A.) al desgaste de los agregados de tamaños menores de 37,5 mm (1 1/2")

Figura 11 Elección de la gradación según análisis granulométrico

| Medida del tamiz (abertura cuadrada) | | Masa de tamaño indicado, g | | | |
|--------------------------------------|----------------|----------------------------|-----------|------------|-----------|
| Que pasa | Retenido sobre | Gradación | | | |
| | | A | B | C | D |
| 37,5 mm (1 ½") | 25,0 mm (1") | 1 250 ± 25 | -.- | -.- | -.- |
| 25,0 mm (1") | 19,0 mm (¾") | 1 250 ± 25 | -.- | -.- | -.- |
| 19,0 mm (¾") | 12,5 mm (½") | 1 250 ±10 | 2 500 ±10 | -.- | -.- |
| 12,5 mm (½") | 9,5 mm (⅜") | 1 250 ±10 | 2 500 ±10 | -.- | -.- |
| 9,5 mm (⅜") | 6,3 mm (¼") | -.- | -.- | 2 500 ±10 | -.- |
| 6,3 mm (¼") | 4,75 mm (Nº 4) | -.- | -.- | 2 500 ±10 | -.- |
| 4,75 mm (Nº 4) | 2,36 mm (Nº 8) | -.- | -.- | | 5 000 |
| TOTAL | | 5 000 ±10 | 5 000 ±10 | 5 000 ± 10 | 5 000 ±10 |

Fuente: Manual de ensayo de materiales del MTC

- Cálculos

$$\text{Abrasión} = \frac{B - A}{A} \dots (\text{en } \%)$$

Donde:

A: Peso del material retenido en el tamiz Nº 12.

B: Peso del material, muestra seca.

Tabla 10

Resumen de datos del ensayo de Abrasión, muestras de residuos de ladrillo coccionado

| Nombre de la Muestra | Peso Muestra Seca (B) | Peso Retenido tamiz Nº12 (A) | % Abrasión | Promedio |
|----------------------|-----------------------|------------------------------|------------|---------------|
| (M1) | 5000.8 | 2696.7 | 46.07% | 45.58% |
| (M2) | 4999.4 | 2721.3 | 45.57% | |
| (M3) | 5000.7 | 2768.1 | 44.65% | |
| (M4) | 4998.7 | 2698.3 | 46.02% | |

Nota: los cálculos y resultados de los datos mostrados en la tabla 10 se detallan en el Anexo B-3.1: Abrasión los Ángeles “muestra coccionada”

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 11

Resumen de datos del ensayo Abrasión, muestras de residuos de ladrillo sobre coccionado

| Nombre de la Muestra | Peso Muestra Seca (B) | Peso Retenido Malla N°12 (A) | % Abrasión | Promedio |
|----------------------|-----------------------|------------------------------|------------|---------------|
| (M1 - SC) | 5000.9 | 3542.6 | 29.16% | 28.45% |
| (M2 - SC) | 5000.5 | 3584.9 | 28.31% | |
| (M3 - SC) | 4999.5 | 3556.1 | 28.87% | |
| (M4 - SC) | 5000.9 | 3627.6 | 27.46% | |

Nota: los cálculos y resultados de los datos mostrados en la tabla 11 se detallan en el Anexo B-3.2: Abrasión los Ángeles “muestra sobre coccionada”.

Fuente: Elaboración Propia

En las tablas 10 y 11 se observan el resumen de datos del ensayo de abrasión para muestra coccionada y sobre coccionada respectivamente.

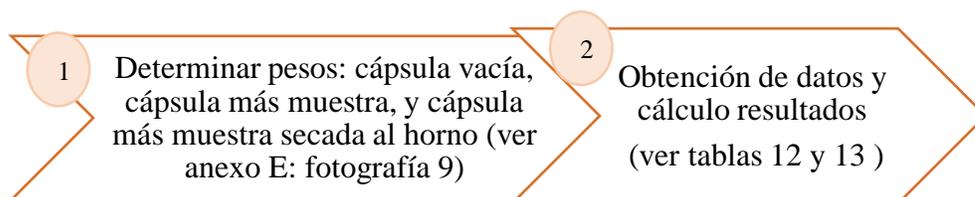
4.4 CBR (California Bearing Ratio) de suelos (laboratorio)

Previo a la realización del ensayo CBR se debe determinar el contenido natural de humedad y contenido de humedad óptima mediante los ensayos de contenido de humedad y proctor modificado los cuales se describen a continuación:

4.4.1 Contenido de humedad

Según el manual de ensayos MTC E-108¹⁰ para la realización del ensayo se siguió los pasos detallados en el diagrama 4:

Diagrama 4 Ensayo contenido de humedad



Fuente: Elaboración propia

¹⁰ SUELOS: Determinación del contenido de humedad de un suelo

- **Cálculos**

$$W = \frac{A - B}{B} \dots (\text{en } \%)$$

W: Contenido de humedad en porcentaje.

A: Peso de la muestra húmeda.

B: Peso de la muestra seca

En la tabla 12 y 13 se muestran los datos del ensayo de contenido de humedad para muestra coccionada y sobre coccionada respectivamente.

Tabla 12
Resumen de datos del ensayo contenido de humedad natural, muestra coccionada

| DESCRIPCIÓN | M1 | M2 | M3 | M4 |
|---|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Peso de cápsula en (gr) | 58.5 | 58.87 | 59.77 | 61.57 |
| Peso de cápsula + muestra húmeda en (gr) | 136.97 | 128.2 | 120.03 | 120.37 |
| Peso de cápsula + muestra seca en (gr) | 136.8 | 128.07 | 119.9 | 120.13 |
| Peso de la muestra húmeda en (gr) (A) | 78.47 | 69.33 | 60.26 | 58.8 |
| Peso de la muestra seca en (gr) (B) | 78.3 | 69.2 | 60.13 | 58.57 |
| Contenido de humedad | 0.22% | 0.19% | 0.23% | 0.40% |
| Contenido de Humedad Promedio | 0.26% | | | |

Nota: los cálculos y resultados de los datos mostrados en la tabla 12 se detallan en el Anexo B-4.1: CBR “muestra coccionada”, fuente: elaboración propia

Tabla 13
Resumen de datos del ensayo contenido de humedad natural, muestra sobre coccionado

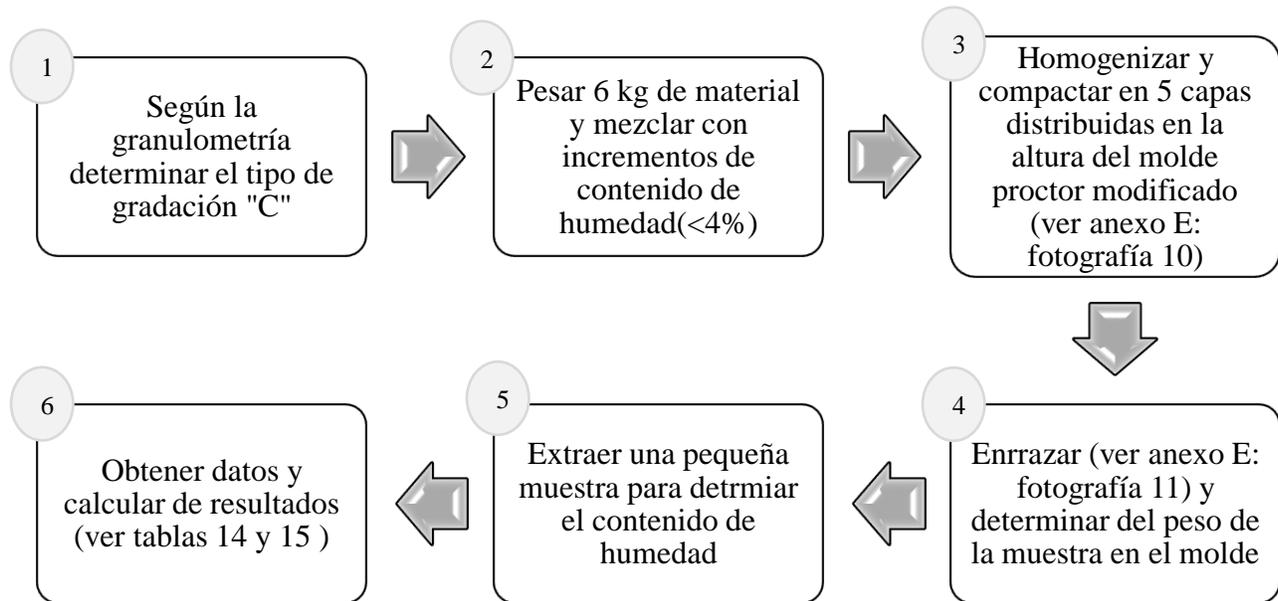
| DESCRIPCIÓN | M1-SC | M2-SC | M3-SC | M4-SC |
|---|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Peso de cápsula en (gr) | 61.69 | 59.69 | 59.7 | 57.8 |
| Peso de cápsula + muestra húmeda en (gr) | 138.54 | 139.46 | 102.51 | 109.16 |
| Peso de cápsula + muestra seca en (gr) | 138.51 | 139.44 | 102.48 | 109.14 |
| Peso de la muestra húmeda en (gr) (A) | 76.85 | 79.77 | 42.82 | 51.36 |
| Peso de la muestra seca en (gr) (B) | 76.82 | 79.75 | 42.79 | 51.34 |
| Contenido de humedad | 0.04% | 0.03% | 0.06% | 0.05% |
| Contenido de Humedad Promedio | 0.04% | | | |

Nota: los cálculos y resultados de los datos mostrados en la tabla 13 se detallan en el Anexo B-4.2: CBR “muestra coccionada”, fuente: elaboración propia.

4.4.2 Compactación de suelos utilizando una energía modificada (Proctor modificado)

Según el manual de ensayos MTC E-115 ¹¹ para la realización del ensayo la cantidad de muestra requerida para el ensayo fue de 50kg la cual se obtuvo una muestra representativa por cuarteo de 25kg, se siguió los pasos detallados en el diagrama 5:

Diagrama 5 Ensayo de proctor modificado



Fuente: Elaboración propia

De esta manera se obtuvo el contenido óptimo de agua según la curva de compactación.

- **Cálculos**

$$\rho_m = \frac{M_s}{V} \dots (\text{en } \frac{gr}{cm^3})$$

Donde:

ρ_m = Densidad húmeda del espécimen compactado

¹¹ SUELOS: Compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada (proctor modificado)

$M_t = \text{Peso del suelo húmedo (kg)}$

$V = \text{Volumen del molde de compactacion (m}^3\text{)}$

$$\rho_d = \frac{\rho_m}{1+W} \dots \left(\text{en } \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}\right)$$

Donde:

$\rho_d = \text{densidad Seca Del especimen compactado (gr/cm}^3\text{)}$

$\rho_m = \text{densidad Humeda Del especimen compactado (gr/cm}^3\text{)}$

$W = \text{Contenido de Humedad (\%)}$

Tabla 14
Resumen de datos del ensayo proctor modificado (contenido de humedad), muestra coccionada MI¹²

| MUESTRA Nro. | 1 | | 2 | | 3 | | 4 | |
|--|--------------|--------|--------------|--------|---------------|--------|---------------|--------|
| Peso del tarro (gr) | 58.55 | 52.46 | 57.69 | 57.64 | 58.3 | 57.74 | 59.73 | 59.03 |
| Peso del tarro + muestra húmeda(gr) | 129.55 | 130.28 | 137.08 | 136.73 | 119.8 | 106.23 | 133.4 | 139.52 |
| Peso del tarro+ muestra seca (gr) | 125.57 | 125.54 | 131.36 | 129.75 | 113.42 | 100.71 | 123.4 | 127.88 |
| Peso del agua (gr) | 3.98 | 4.74 | 5.72 | 6.98 | 6.38 | 5.52 | 10 | 11.64 |
| Peso del material seco (gr) | 67 | 73.1 | 73.7 | 72.1 | 55.1 | 43 | 63.7 | 68.9 |
| Contenido de humedad (gr) | 5.94% | 6.49% | 7.76% | 9.68% | 11.57% | 12.85% | 15.71% | 16.91% |
| % PROMEDIO | 6.21% | | 8.72% | | 12.21% | | 16.31% | |

Nota: Los cálculos y resultados de las muestras de los datos mostrados en la tabla 14 se detallan en el Anexo B-4.1: CBR “muestra coccionada”. Fuente: elaboración propia.

¹² Los datos y resultados del ensayo para muestra coccionada y sobre coccionada se detallan en el Anexo B-4.1: CBR “muestra coccionada”.

Tabla 15

Resumen de datos del ensayo proctor modificado (densidad seca) muestra coccionada M1¹³

| MUESTRA Nro. | 1 | 2 | 3 | 4 |
|---------------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Contenido de Humedad % | 6.21% | 8.72% | 12.21% | 16.31% |
| Peso del suelo + Molde (gr) | 9855 | 9950.8 | 10064.3 | 10163.1 |
| Peso del Molde (gr) | 6463.2 | 6463.2 | 6463.2 | 6463.2 |
| Peso del suelo Húmedo (gr) | 3391.8 | 3487.6 | 3601.1 | 3699.9 |
| Densidad Húmeda (gr/cm ³) | 1.597 | 1.642 | 1.695 | 1.742 |
| Densidad seca (gr/cm ³) | 1.50354 | 1.51032 | 1.51099 | 1.49778 |

Nota: los cálculos y resultados de los datos mostrados en la tabla 15 se detallan en el Anexo B-4.2: CBR “muestra coccionada”.

Fuente: Elaboración Propia

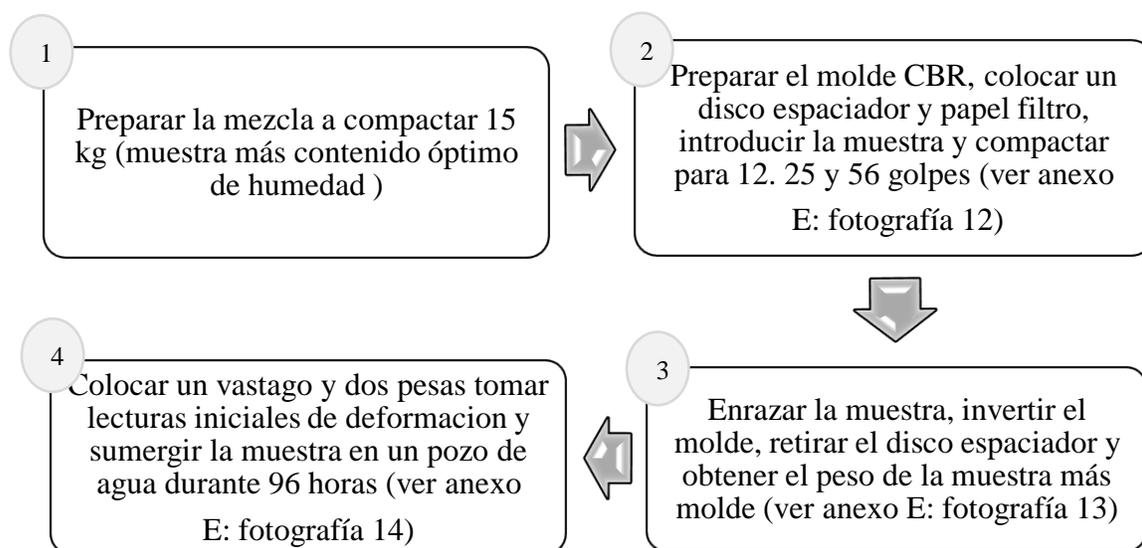
4.4.3 California Bearing Ratio (CBR)

Según el manual de ensayos de materiales MTC E-132¹⁴, La cantidad de muestra requerida para el ensayo fue de 15kg, en la granulometría no se realizó ninguna corrección debido a que no se tuvo material retenido en la malla 3/4”, el ensayo indica que se requiere realizar tres especímenes de 12, 26, y 55 golpes respectivamente en cinco capas distribuidas según la altura del molde estandarizado, y se siguieron los pasos detallados en el diagrama 6:

¹³ Los datos y resultados del ensayo para muestra cocina y sobre coccionada se detallan en el Anexo B-4.2: CBR “muestra sobre coccionada”

¹⁴ SUELOS: CBR de suelos (Laboratorio)

Diagrama 6 Ensayo de CBR



Fuente: Elaboración propia

- **Para la penetración:**

El espécimen se colocó en la prensa CBR, se hizo contacto la parte superior de la muestra con el pistón de la prensa CBR para ser sometido a carga, donde la velocidad fue de 0.05” por minuto, tomando lecturas del dial de carga a valores de deformación controlada hasta un tiempo mínimo de 10 minutos o hasta que la carga sea constante.

- **Cálculos**

$$CBR = \frac{A}{B} \dots (en \%)$$

Donde:

A: Esfuerzo a 0.2” de deformación (%)

B: Esfuerzo patrón (%)

En la tabla 16 se observa el resumen de datos de la penetración del ensayo de CBR para la muestra M1, en la tabla 17 se observa el esfuerzo patrón para 0.1” y 0.2”. En la tabla 18 se

observa el resumen de resultados de CBR para 12, 26 y 55 golpes para la muestra M1. En la figura 12 se observa la gráfica de CBR para muestra M1.

Tabla 16
Resumen de datos de Penetración y esfuerzos de la Muestra (M1)

| Penetración (pulg) | Nro. golpes por capa (12) | Nro. golpes por capa (26) | Nro. golpes por capa |
|-----------------------|--|------------------------------|-------------------------|
| | Esfuerzo (lb. /pulg ²) (A) | | |
| 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0.025 | 52.39 | 58.66 | 66.2 |
| 0.05 | 108.18 | 106.65 | 194.35 |
| 0.075 | 163.25 | 162.58 | 320.05 |
| 0.1 | 217.61 | 220.06 | 443.3 |
| 0.125 | 271.27 | 272.7 | 564.09 |
| 0.15 | 324.22 | 338.03 | 682.44 |
| 0.2 | 427.99 | 465.29 | 911.77 |
| 0.3 | 627.03 | 711.08 | 1341.01 |
| 0.4 | 814.73 | 940.08 | 1731.03 |
| 0.5 | 991.09 | 1150.91 | 2081.83 |
| 0.6 | 1156.12 | 1357.87 | 2393.39 |

Nota: los cálculos y resultados de los datos mostrados en la tabla 16 se detallan en el anexo B-4.1: CBR “muestra coccionada”.

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 17
Valores de Esfuerzo Patrón

| Penetración | | Presión | | |
|-------------|------------|-------------------|----------------------|---------------------|
| centímetros | Pulgadas | MN/m ² | Kg-f/cm ² | lb/plg ² |
| 2.54 | 0.1 | 6.9 | 70.31 | 1000 |
| 5.08 | 0.2 | 10.35 | 105.46 | 1500 |

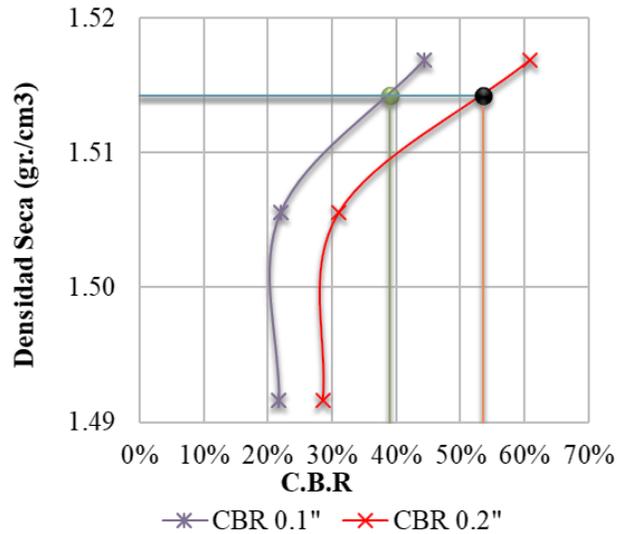
Fuente: Manual de ensayo de Materiales, pag.255

Tabla 18
Resultados CBR Muestra (M1) residuos de ladrillo coccionado

| GOLPES | CBR-0.2" |
|---------------|-----------------|
| 12 | 29% |
| 26 | 31% |
| 55 | 61% |

Nota: los cálculos y resultados de los datos mostrados en la tabla 18 se detallan en el Anexo B-4.1: CBR “muestra coccionada”. Fuente: Elaboración Propia

Figura 12 Curva CBR, muestra M1



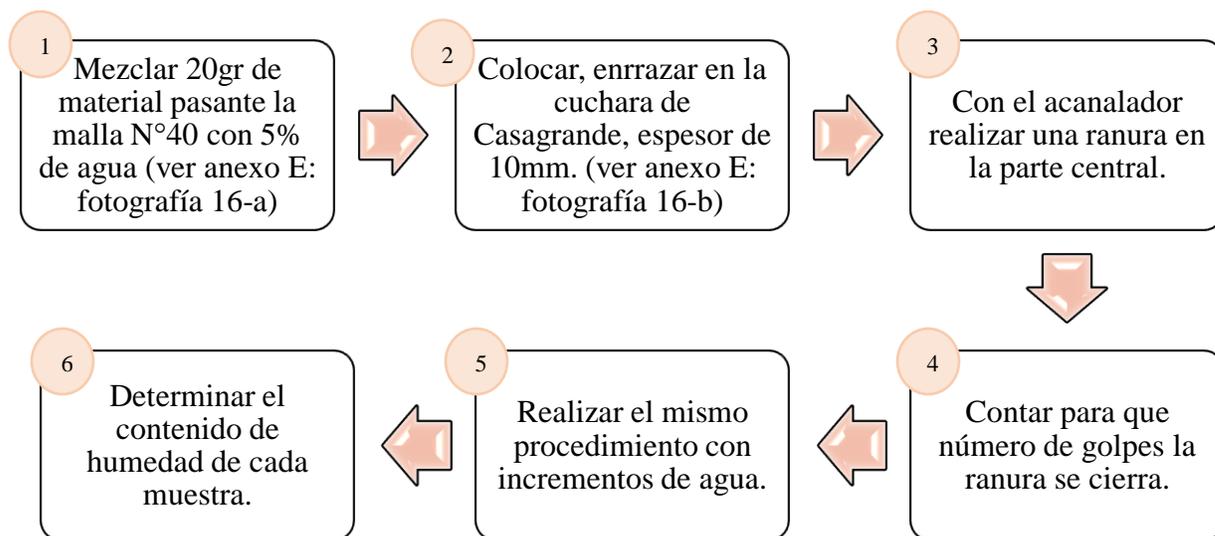
Fuente: Elaboración propia

4.5 Determinación del límite líquido de los suelos (LL)

Según el Manual de Ensayos de Materiales MTC E-110¹⁵, el ensayo fue realizado de la siguiente manera, detallado en el diagrama 7:

¹⁵ SUELOS: Determinación del Limite Liquido de los suelos

Diagrama 7 Ensayo de límite líquido



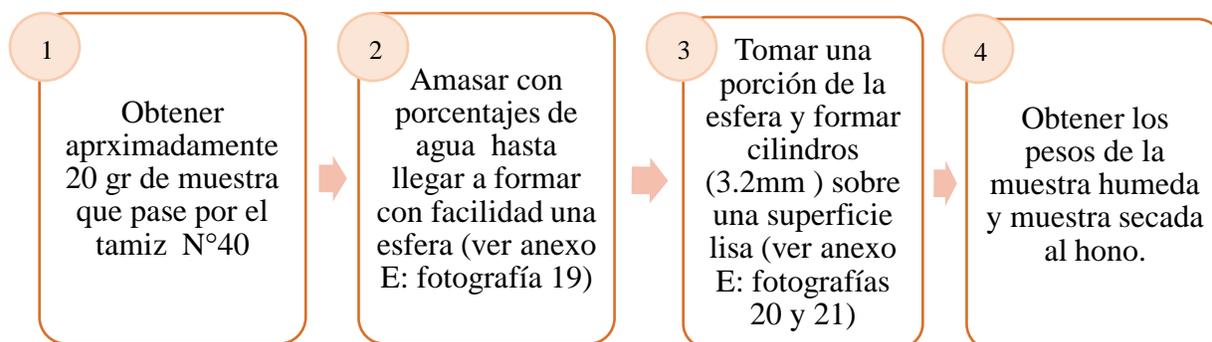
Fuente: Elaboración propia

1. Con el acanalador se hizo una ranura en la parte central de la mezcla, se observó que en el ensayo fue imposible realizar la ranura dado que cuando se pasaba el acanalador este al llegar a la parte central de la cuchara se llevaba la mezcla (anexo E: fotografía 17-a) de tal manera que no se apreciaba la separación de las partes, caso contrario si la mezcla tenía mayor porcentaje de agua el número de golpes fue insuficiente para determinar el límite líquido (anexo E: fotografía 17-c). Con esta apreciación se determinó que el material no tiene límite líquido.
2. Esto ocurrió para todas las muestras y diferentes porcentajes de agua tal como se observa en fotografía 18 del anexo E, que son residuos de ladrillo sobre coccionado (SC). Por tal apreciación el ensayo terminó con el resultado de ser un material que no tiene límite líquido.

4.6 Determinación del límite plástico (L.P.) de los suelos índice de plasticidad (I.P.)

Según el Manual de Ensayos de Materiales MTC E-111¹⁶, el ensayo fue realizado de la siguiente forma, se presenta el diagrama 8:

Diagrama 8 Ensayo de límite líquido



Fuente: Elaboración propia

- Con el mismo material usado en la determinación del límite líquido, se trató de moldear con los dedos la mezcla dándole una forma esférica, pero esto no se pudo realizar debido a que la mezcla se desmoronaba y no adquiriría esta forma necesaria, por lo tanto, no se logró moldear a la forma elipsoide con un diámetro de 3.2mm sobre la superficie de vidrio esmerilado para la realización del ensayo. De esto se desprende que es un material no plástico (NP).

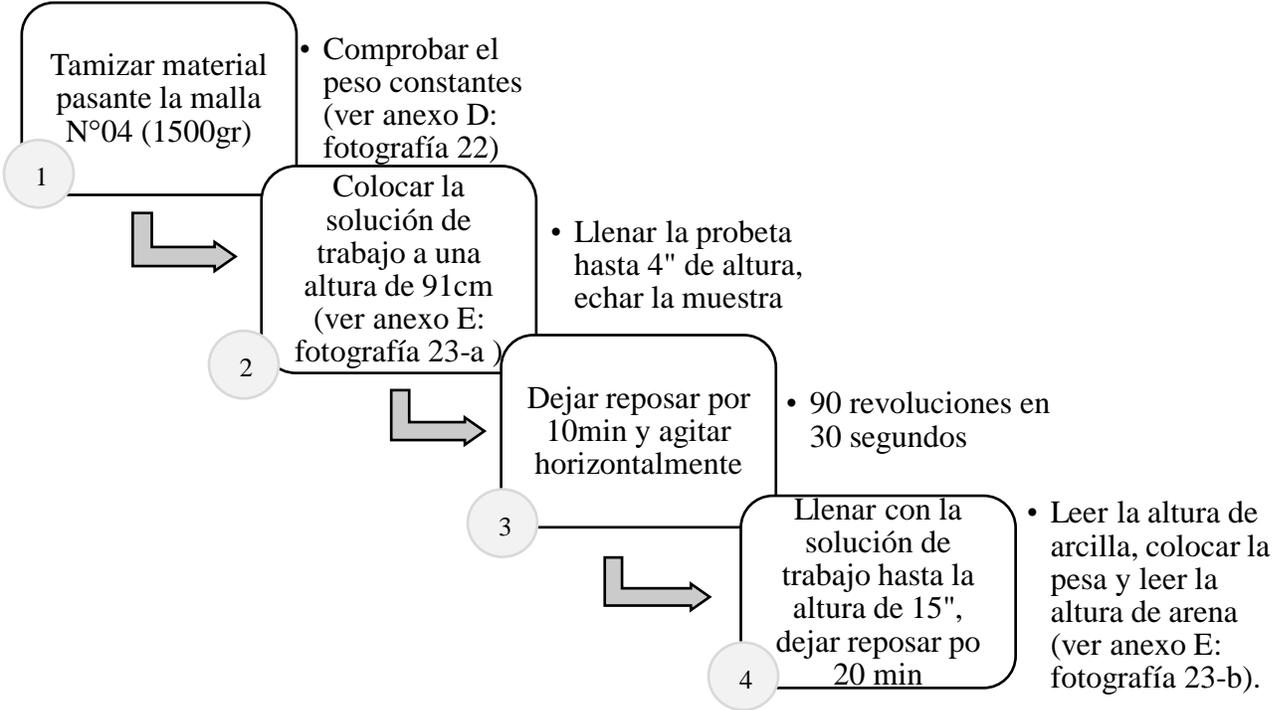
4.7 Método de ensayo estándar para el valor Equivalente de Arena de suelos y agregado fino

Según el manual de ensayo de materiales MTC E-114¹⁷, la muestra se preparó según el método A, el cual se describe en el diagrama 9:

¹⁶ SUELOS: Determinación del Límite Plástico (L.P.) de los suelos e Índice de plasticidad (I.P.)

¹⁷ SUELOS, Método de ensayo estándar para el valor de equivalente de arena de suelos y agregado fino.

Diagrama 9 Ensayo de equivalente de arena



Elaboración propia

• **Cálculos:**

$$EA = \frac{B}{A} \dots (\text{en } \%)$$

Donde:

EA: Equivalente de arena.

A: Lectura del indicador de la altura de arcilla.

B: Lectura del indicador de la altura de arena.

En la tabla 19 y 20 se observan el resumen de datos del ensayo de equivalente de arena para muestra coccionado y sobre coccionada.

Tabla 19
Resumen de datos del ensayo del equivalente de arena para muestra coccionada

| Muestra | M1 | | M2 | | M3 | | M4 | |
|--|---------------|--------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|
| Nro. de Prueba | (1) | (2) | (1) | (2) | (1) | (2) | (1) | (2) |
| Lectura de la Arcilla (pulg.) (A) | 3.7 | 3.75 | 3.65 | 3.6 | 3.6 | 3.65 | 3.6 | 3.8 |
| Lectura de la Arena (pulg.) (B) | 3.2 | 3.15 | 3 | 3.15 | 3.15 | 3.1 | 3.1 | 3.2 |
| Equivalente de Arena | 86.49% | 84.00% | 82.19% | 87.50% | 87.50% | 84.93% | 86.11% | 84.21% |
| E/A | 85.24% | | 84.85% | | 86.22% | | 85.16% | |
| PROMEDIO | 85.37% | | | | | | | |

Nota: los cálculos y resultados de los datos mostrados en la tabla 19 se detallan en el Anexo B-5.1: equivalente de arena “muestra coccionada”. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 20
Resumen de datos del ensayo de equivalente de arena para muestra sobre coccionada

| Muestra | M1-SC | | M2-SC | | M3-SC | | M4-SC | |
|--|----------------|------|--------------|------|--------------|------|--------------|------|
| Nro. de Prueba | (1) | (2) | (1) | (2) | (1) | (2) | (1) | (2) |
| Lectura de la Arcilla (pulg.) (A) | 3.4 | 3.3 | 3.4 | 3.4 | 3.4 | 3.4 | 3.4 | 3.4 |
| Lectura de la Arena (pulg.) (B) | 3.4 | 3.3 | 3.4 | 3.4 | 3.4 | 3.4 | 3.4 | 3.4 |
| Equivalente de Arena | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| E/A | 100% | | 100% | | 100% | | 100% | |
| PROMEDIO | 100.00% | | | | | | | |

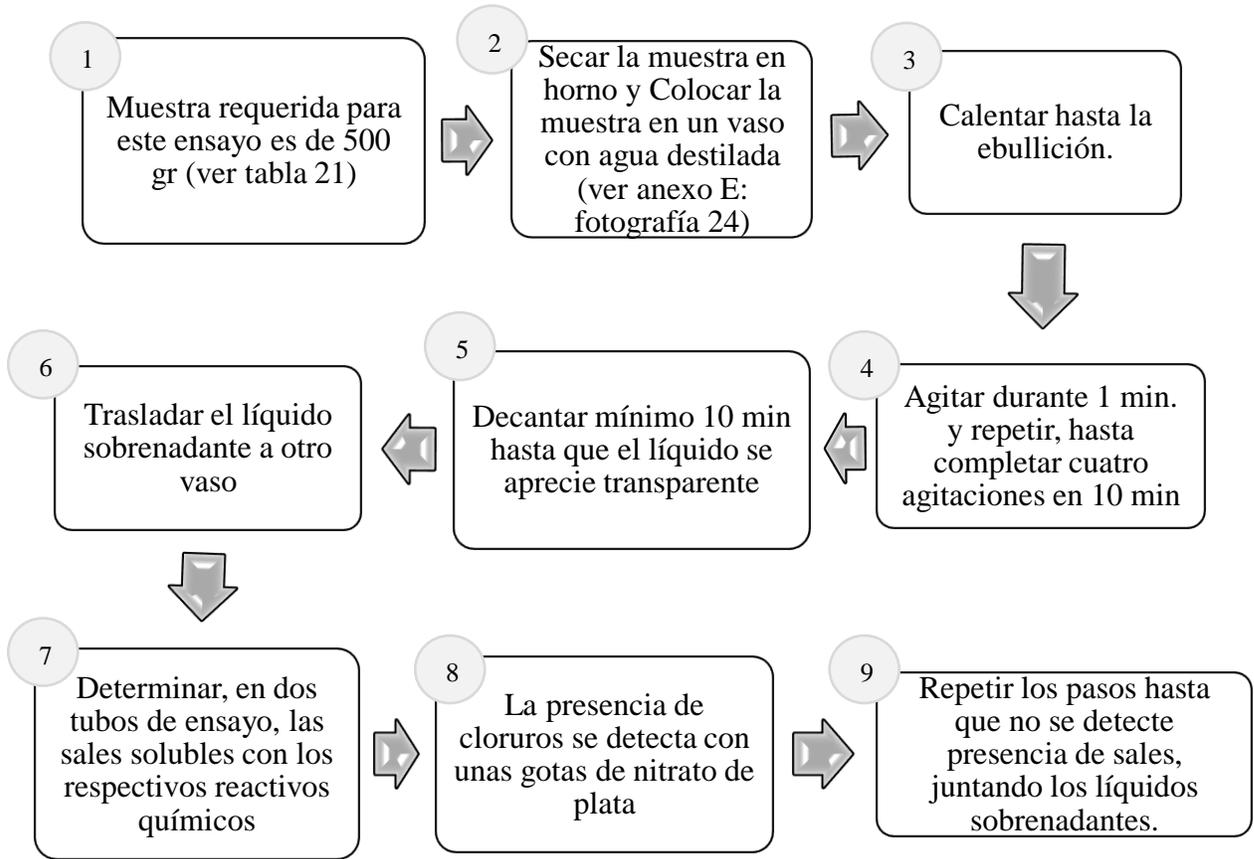
Nota: los cálculos y resultados de los datos mostrados en la tabla 20 se detallan en el Anexo B-5.2: Equivalente de arena “muestra sobre coccionada”. Fuente: Elaboración propia.

4.8 Sales Solubles en agregados para pavimentos flexibles

Según el manual de ensayo de materiales MTC E-219¹⁸, el ensayo se realizó siguiendo los pasos del diagrama 10:

¹⁸ AGREGADOS: Sales solubles en agregados para pavimentos flexibles.

Diagrama 10 ensayo de sales solubles



Fuente: Elaboración propia

Tabla 21
Cantidad y aforo según tamaño de partículas

| Agregado Pétreo | Cantidad mínima (g) | Aforo mínimo (ml) |
|-----------------|---------------------|-------------------|
| Grava 50 - 20mm | 1000 | 500 |
| Grava 20 - 5mm | 500 | 500 |
| Arena 20 mm | 100 | 500 |

Fuente: Manual de ensayo de materiales MTC, pag. 379

1. Debido a la toxicidad de las soluciones (Nitrato de Plata y Cloruro de Bario) este ensayo se mandó a realizar en la “Unidad de Prestaciones de Servicios de Análisis Químico Departamento Académico de Química UNSAAC”.
2. Los cuales al realizar el ensayo dieron como resultados, los siguientes valores, ver tabla 22:

*Tabla 22
Resultados del ensayo de sales solubles*

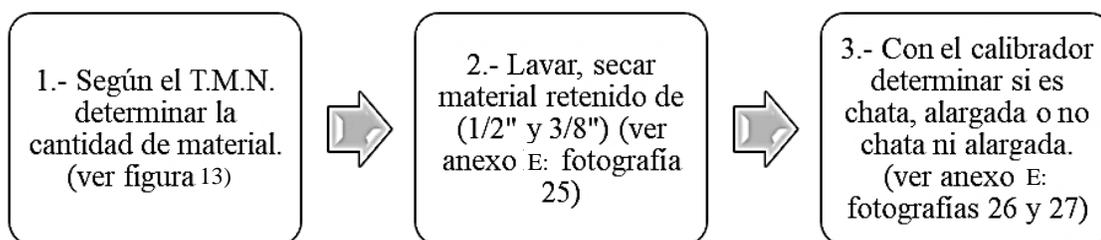
| Nombre de Muestra | Muestra coccionada | Muestra sobre coccionada |
|--------------------------|---------------------------|---------------------------------|
| M1 | 1345.8 | 210 |
| M2 | 1328.8 | 210 |
| M3 | 1378.9 | 196 |
| M4 | 1396.7 | 201 |
| PROMEDIO (ppm) | 1362.5 | 204 |

*ppm: parte por millón, los datos y resultados se muestran en el Anexo B-6: Sales solubles.
Fuente: Elaboración propia

4.9 Partículas chatas y alargadas en agregados

Según el manual de ensayo de materiales MTC E-223¹⁹, el ensayo se realizó con los pasos detallados en el diagrama 11:

Diagrama 11 Ensayo de partículas chatas y alargadas



Fuente: Elaboración propia

¹⁹ AGREGADOS: Partículas chatas y alargadas en agregados.

Figura 13 Cantidad de material para el ensayo de partículas chatas y alargadas, según tamaño máximo nominal

| Tamaño máximo nominal malla cuadrada mm - (pulgada) | Peso mínimo de la muestra de ensayo kg - (lb) |
|---|---|
| 9,5 - (3/8) | 1 - (2) |
| 12,5 - (1/2) | 2 - (4) |
| 19,0 - (3/4) | 5 - (11) |
| 25,0 - (1) | 10 - (22) |
| 37,5 - (1.1/2) | 15 - (33) |
| 50 - (2) | 20 - (44) |
| 63 - (2.1/2) | 35 - (77) |
| 75 - (3) | 60 - (130) |
| 90 - (3.1/2) | 100 - (220) |
| 100 - (4) | 150 - (330) |
| 112 - (4.1/2) | 200 - (440) |
| 125 - (5) | 300 - (660) |
| 150 - (6) | 500 - (1100) |

Fuente: Manual de ensayo de material MTC E-223, pág. 392

Tabla 23
Resumen de datos del ensayo de partículas chatas y alargadas, muestra coccionada M1

| M1 | | | | | | | | | |
|-----------------|------------------------|---------------|----------------------------|--------------------|---------|----------------------|--------------------|---------|-------------|
| Datos Iniciales | | | Partículas Chatas | | | Partículas Alargadas | | | |
| Tamiz | Peso Retenido en malla | Peso Retenido | % de la gradación original | Peso Seco (gr) | % Total | % Corregido | Peso Seco (gr) | % Total | % Corregido |
| 1/2" | 376.15 | 177.25 | 7.60% | 40.77 | 23.00% | 1.75% | 5.58 | 3.15% | 0.24% |
| 3/8" | 733.7 | 534.8 | 22.94% | 56.60 | 10.58% | 2.43% | 19.23 | 3.60% | 0.82% |
| Totales | | 712.05 | 30.54% | 97.37 | - | 4.18% | 24.81 | - | 1.06% |
| | | | | Corrección al 100% | | 13.67% | Corrección al 100% | | 3.48% |

Nota: Los datos y resultados se muestran en el Anexo B-7.1: Partículas chatas y alargadas “muestra coccionada”
Fuente: Elaboración propia.

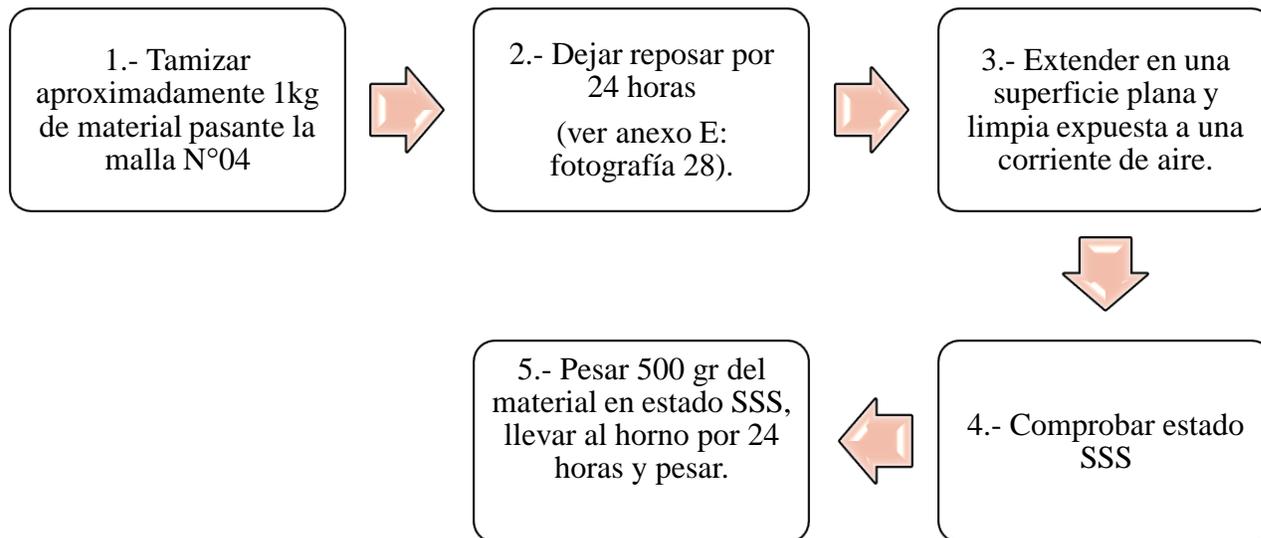
4.10 Absorción de agregados

4.10.1 Absorción de agregados finos

El ensayo se realizó de acuerdo al manual de ensayo de materiales del MTC E-205²⁰, detallado en el diagrama 12:

²⁰ AGREGADOS. Gravedad específica y absorción de agregados finos

Diagrama 12 Ensayo de absorción de agregados finos



Fuente: Elaboración propia

- **Cálculos**

$$Ab = \frac{500 - W_o}{W_o} \dots (\text{en } \%)$$

Donde:

W_o: peso de la muestra secada al horno en gramos.

Tabla 24
Resumen de datos del ensayo de absorción, muestra coccionada (C)

| Muestra | Muestra SSS ¹ | Peso Seco (W _o) | Absorción (Ab) |
|-----------------|--------------------------|-----------------------------|----------------|
| M1 | 500 | 437.97 | 14.16% |
| M2 | 500 | 439.71 | 13.71% |
| M3 | 500 | 436.23 | 14.62% |
| M4 | 500 | 437.34 | 14.33% |
| PROMEDIO | | | 14.21% |

¹ SSS: saturado superficialmente seco, los datos y resultados se muestran en el Anexo B-8.3: Absorción de agregado fino “muestra coccionada”

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 25
 Datos del ensayo de absorción, muestra sobre coccionado (SC)

| Muestra | Muestra SSS ¹ | Peso Seco (Wo) | Absorción (Ab) |
|-----------------|--------------------------|----------------|----------------|
| M1 -SC | 500 | 464.8 | 7.57% |
| M2 - SC | 500 | 464.4 | 7.67% |
| M3 - SC | 500 | 466 | 7.30% |
| M4 -SC | 500 | 468.23 | 6.79% |
| PROMEDIO | | | 7.33% |

¹ SSS: saturado superficialmente seco, los datos y resultados se muestran en el Anexo B-8.: Absorción de agregado fino “muestra coccionada”.

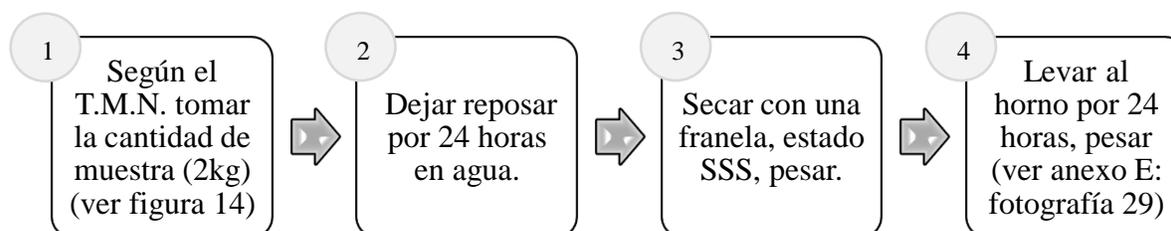
Fuente: Elaboración propia

1. La tabla 24, muestra los datos obtenidos en laboratorio del ensayo de absorción para agregado fino de muestra de residuos reciclados de ladrillos coccionados, así mismo la tabla 25 muestra datos y resultados para material de residuos reciclados de ladrillos sobre coccionados.

4.10.2 Absorción de agregados gruesos

El ensayo se realizó de acuerdo al manual de ensayo de materiales del MTC E-206²¹, los pasos seguidos se detallan en el diagrama 13:

Diagrama 13 Ensayo de absorción de agregado grueso



Fuente: Elaboración propia

²¹ AGREGADOS. Gravedad específica y absorción de agregados gruesos.

Figura 14 Cantidad mínima de material para el ensayo de absorción

| Tamaño Máximo Nominal mm (pulg) | Peso Mínimo de la Muestra de Ensayo Kg (lb) |
|------------------------------------|---|
| 12,5 (1/2) o menos | 2 (4,4) |
| 19,0 (3/4) | 3 (6,6) |
| 25,0 (1) | 4 (8,8) |
| 37,5 (1 1/2) | 5 (11) |
| 50,0 (2) | 8 (18) |
| 63,0 (2 1/2) | 12 (26) |
| 75,0 (3) | 18 (40) |
| 90,0 (3 1/2) | 25 (55) |
| 100,0 (4) | 40 (88) |
| 112,0 (4 1/2) | 50 (110) |
| 125,0 (5) | 75 (165) |
| 150,0 (6) | 125 (276) |

Fuente: Manual de ensayo de materiales MTC E-206, pág.313

• **Cálculos:**

$$Ab = \frac{B - A}{A} \dots (\text{en } \%)$$

Donde:

A: peso de la muestra seca en el aire (gramos).

B: Peso de la muestra saturada superficialmente seca en el aire (gramos).

2. En las siguientes tablas 26 y 27 se muestran datos del ensayo de absorción para agregado grueso para muestra coccionada y sobre coccionada respectivamente.

Tabla 26

Resumen de datos del ensayo de absorción agregado grueso, muestra de ladrillo coccionada

| Muestra | Muestra SSS (B) | Peso Muestra Secada Al Horno (A) | Absorción (Ab) |
|-----------------|--------------------|-------------------------------------|-------------------|
| M1 | 581.79 | 511.23 | 13.81% |
| M2 | 471.02 | 410.62 | 14.71% |
| M3 | 422.38 | 368.97 | 14.47% |
| M4 | 507.71 | 448.78 | 13.13% |
| PROMEDIO | | | 14.03% |

Los datos y resultados se muestran en el anexo B-8.1: Absorción de agregado fino “muestra coccionada”

Fuente: Elaboración propia

Tabla 27
Resumen de datos del ensayo de absorción agregado grueso, muestra de ladrillo coccionado.

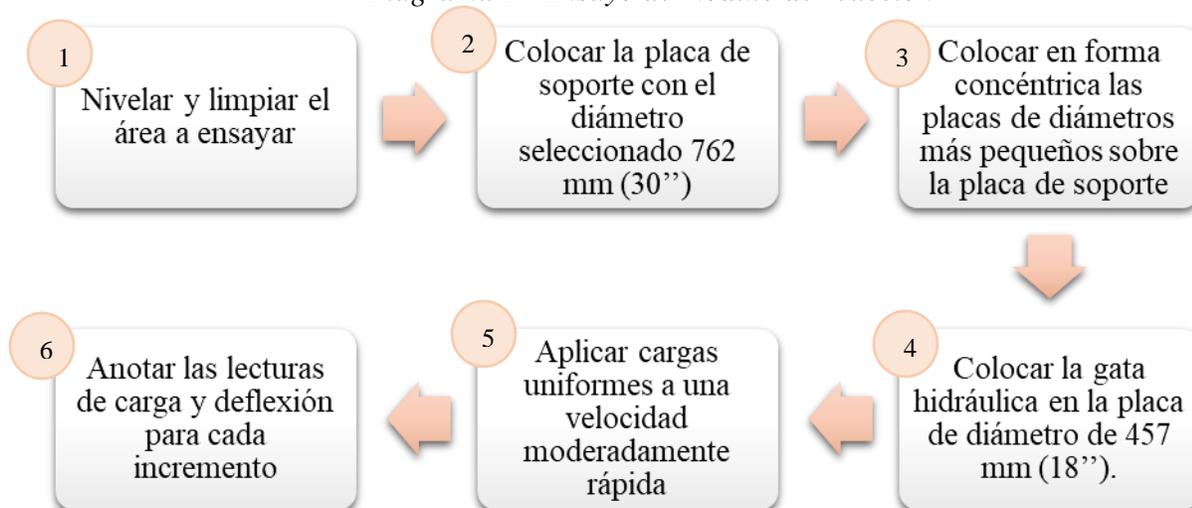
| Nombre Muestra | Muestra SSS (B) | Peso Muestra Secada Al Horno (A) | Absorción (Ab) |
|-----------------------|------------------------|---|-----------------------|
| M1 - SC | 464.1 | 453.58 | 2.32% |
| M2 - SC | 645.24 | 631.62 | 2.16% |
| M3 - SC | 391.56 | 382.84 | 2.28% |
| M4 - SC | 571.6 | 559.24 | 2.21% |
| PROMEDIO | | | 2.25% |

Los datos y resultados se muestran en el anexo B-8.2: Absorción de agregado fino “muestra coccionada”
 Fuente: Elaboración propia

4.11 Módulo de reacción

Según referencia normativa ASSHTO T-222, los pasos del ensayo se detallan en el diagrama 14:

Diagrama 14 Ensayo de módulo de reacción

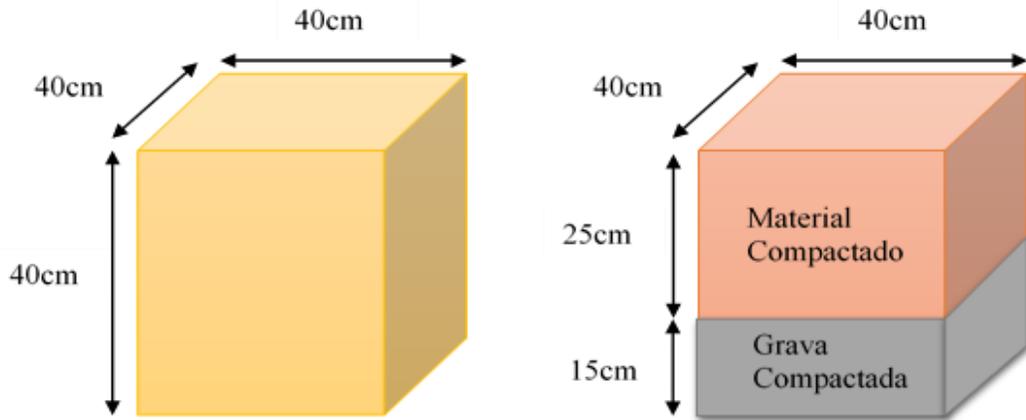


Fuente: Elaboración propia

Debido a la falta de instrumentos de laboratorio, se optó por realizar una simulación del ensayo de carga en placa, la cual consistió:

1. En un molde de madera de forma prismática con dimensiones internas (40cm x 40cm x 40cm) con un espesor de 3/4” 8, se compactó grava hasta un espesor de 15cm de altura con la finalidad de tener una base rígida sin deformación (ver figura 15).

Figura 15 Dimensión y distribución de alturas de compactación, según material



Fuente: Elaboración propia

2. Luego de la compactación de la grava, se procedió a realizar la compactación del material reciclado, el cual tuvo las siguientes características:
 - Se realizó un muestreo representativo de las cuatro muestras.
 - Se tomaron aproximadamente 40 kilogramos de material representativo.
 - La muestra fue preparada con el contenido óptimo de humedad (10.43%).
3. La compactación del material de residuos reciclados de ladrillos se realizó en ocho (8) capas de tres (3) centímetros de espesor compactado, el cual se compactó con el pisón (pisón de 10 lbf.)²². (ver anexo E: fotografías 30).
4. Se comprobó la densidad de la compactación.

²² Pisón usado en el ensayo de compactación de proctor modificado

5. Se colocó el molde en la máquina de compresión diagonal, se colocó una placa de nueve (9) centímetros de diámetro para la distribución de esfuerzos; se colocó el dial como se ve en la fotografía 31 del anexo E, la carga transmitida fue a través de una gata hidráulica. Se controló la deformación cada milímetro (1 mm) y se hizo lectura del dial de carga.

- **Cálculos:**

$$K = \frac{\tau}{\varepsilon}$$

K: módulo de reacción

τ : Variación de Esfuerzo

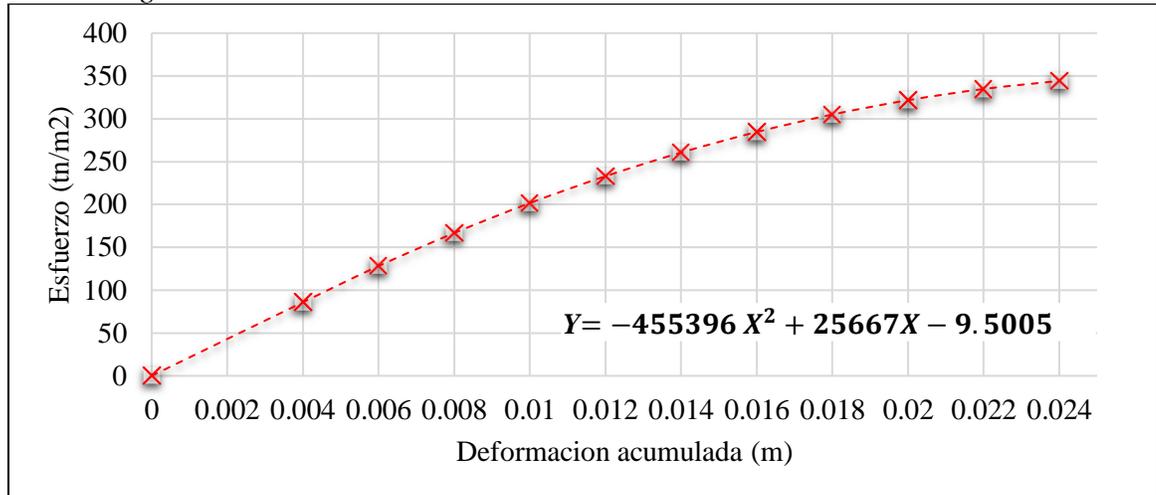
ε : Variación de deformación acumulada

Tabla 28
Resumen de datos del ensayo de módulo de reacción, muestra coccionada

| Diámetro (cm) | Área (m ²) | Esfuerzo (tn/m ²) | Deformación acumulada (m) |
|---------------|------------------------|-------------------------------|---------------------------|
| 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0.09 | 0.0063617 | 85.881 | 0.004 |
| 0.09 | 0.0063617 | 128.107 | 0.006 |
| 0.09 | 0.0063617 | 166.690 | 0.008 |
| 0.09 | 0.0063617 | 201.630 | 0.01 |
| 0.09 | 0.0063617 | 232.926 | 0.012 |
| 0.09 | 0.0063617 | 260.580 | 0.014 |
| 0.09 | 0.0063617 | 284.590 | 0.016 |
| 0.09 | 0.0063617 | 304.957 | 0.018 |
| 0.09 | 0.0063617 | 321.681 | 0.02 |
| 0.09 | 0.0063617 | 334.762 | 0.022 |
| 0.09 | 0.0063617 | 344.199 | 0.024 |

Fuente: Elaboración propia

Figura 16 Módulo de reacción del material reciclado coccionado



Fuente: Elaboración propia

De la figura 16 se determina que el valor módulo de reacción es el valor correspondiente para 10 psi/inch o 7.03 tn/m³, es decir el valor de 388.43 pci, ver tabla 29:

Tabla 29
Valor del módulo de reacción, material reciclado

| Muestra Coccionada | Unidad |
|--------------------|-------------------|
| K | 388.43 pci |

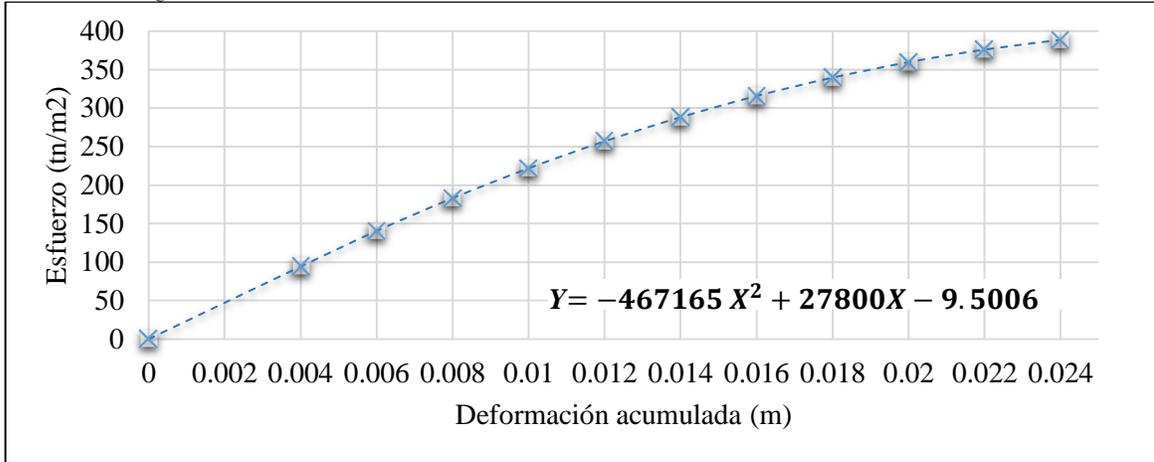
Fuente: Elaboración propia

Tabla 30
Resumen de datos del ensayo de módulo de reacción, muestra sobre coccionada

| Diámetro (cm) | Área (m²) | Esfuerzo (tn/m²) | Deformación acumulada (m) |
|---------------|-----------|------------------|---------------------------|
| 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0.09 | 0.0063617 | 94.23 | 0.004 |
| 0.09 | 0.0063617 | 140.48 | 0.006 |
| 0.09 | 0.0063617 | 183.00 | 0.008 |
| 0.09 | 0.0063617 | 221.78 | 0.01 |
| 0.09 | 0.0063617 | 256.83 | 0.012 |
| 0.09 | 0.0063617 | 288.14 | 0.014 |
| 0.09 | 0.0063617 | 315.71 | 0.016 |
| 0.09 | 0.0063617 | 339.54 | 0.018 |
| 0.09 | 0.0063617 | 359.63 | 0.02 |
| 0.09 | 0.0063617 | 375.99 | 0.022 |
| 0.09 | 0.0063617 | 388.61 | 0.024 |

Fuente: Elaboración propia

Figura 17 Módulo de reacción del material reciclado sobre coccionado



Fuente: Elaboración propia

De la figura 17 se determina que el valor módulo de reacción es el valor correspondiente para 10 psi/inch o 7.03 tn/m³, es decir el valor de 421.34 pci, ver tabla 31:

Tabla 31
Valor del módulo de reacción, material reciclado sobre coccionado

| Muestra Sobre coccionada | Unidad |
|--------------------------|----------------------|
| K | 421.34 pci |

Fuente: Elaboración propia

Capítulo V: Análisis e Interpretación de Datos

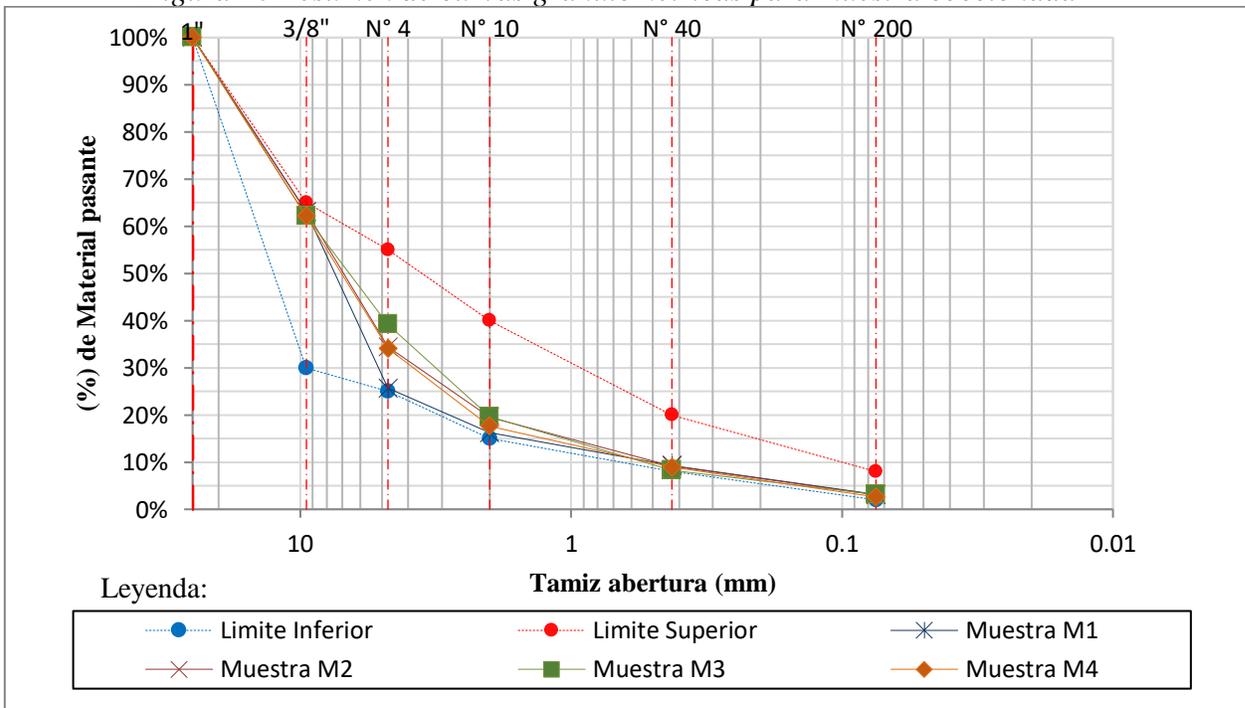
5.1 Análisis e interpretación de las características físico-mecánicas y químicas

5.1.1 Análisis Granulométrico

En las figuras 18 y 19 se observan las curvas granulométricas para la muestra coccionada y sobre coccionada respectivamente, estas curvas granulométricas se encuentran dentro de los límites establecidos por la ASTM D-1241. Así mismo se observa que las curvas tienen una pendiente muy pronunciada en los tamices 3/8” y N°4, esto se debe porque no existe una distribución homogénea de las cantidades de material retenido en los tamices (3/8”, N°4, N°10, N°40 y N°200).

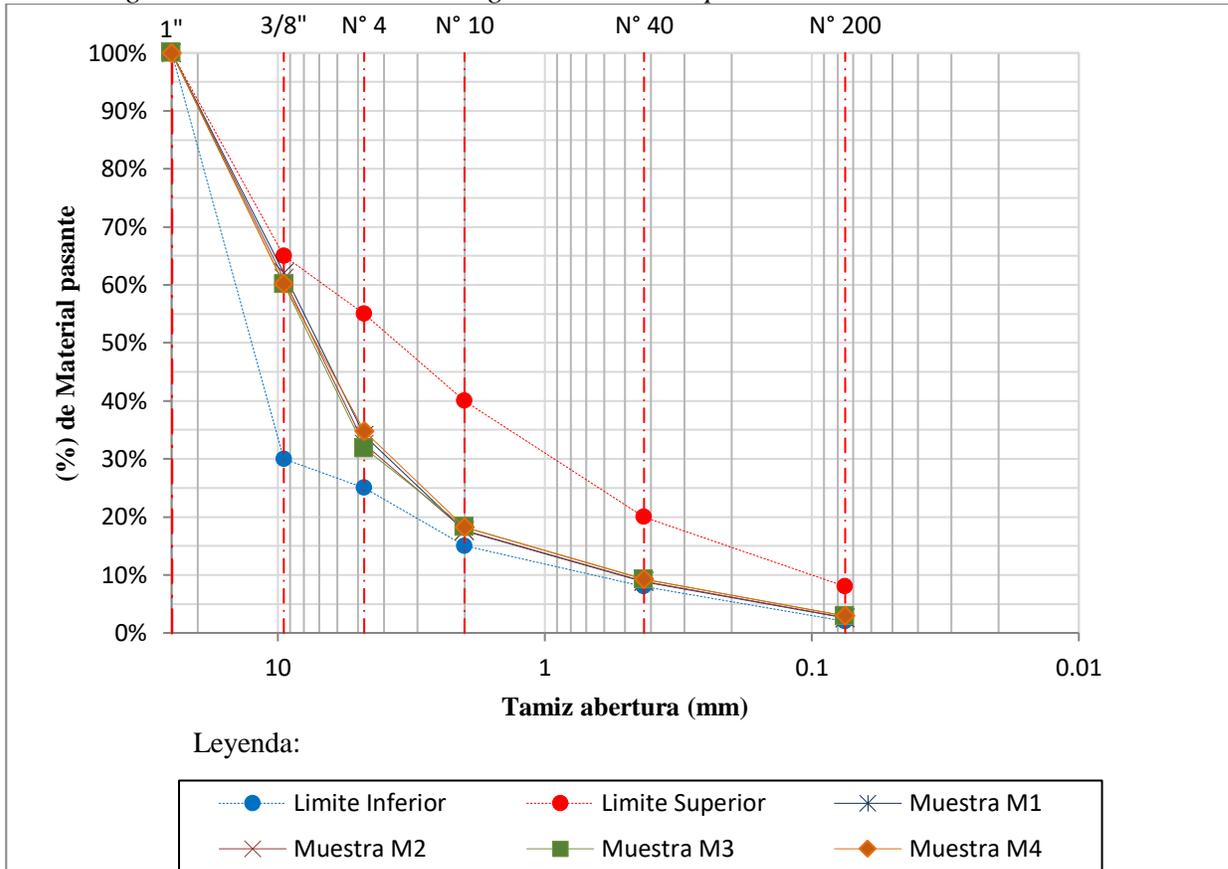
Se observa que las curvas granulométricas tienden a salir en el límite inferior porque existe una mayor cantidad de material granular con tamaño de 3/8”.

Figura 18 Resumen de curvas granulométricas para muestra coccionada



Los datos y resultados se muestran en el Anexo B-2.1: Análisis granulométrico “muestra coccionada”
Fuente: Elaboración propia

Figura 19 Resumen de curvas granulométricas para muestra sobre coccionada



Los datos y resultados se muestran en el Anexo B-2.2: Análisis granulométrico “muestra coccionada”
Fuente: Elaboración Propia

5.1.2 Clasificación de suelos²³

Según la granulometría la clasificación de suelo para la muestra coccionada y sobre coccionada fue:

Según SUCS: **GP**; grava mal gradada con pocos finos.

Según ASSHTO: **A-1-(a), A-1-(b)**; fragmentos de piedra grava y arena.

²³ Nota: los resultados para la clasificación SUCS y ASSHTO se encuentran en el anexo B-1: Clasificación de suelos.

5.1.3 Abrasión los ángeles

En la tabla 32 se obtiene un valor promedio de 45.58% para la muestra coccionada y un 28.45% para la muestra sobre coccionada, estos valores están dentro de los parámetros de la norma EG-2013, la cual indica un valor máximo de abrasión para sub base de pavimentos de 50%.

La diferencia de valores de abrasión entre estas dos muestras depende del grado de calcinación sometidos en la cocción, ya que, al estar en contacto directo con el fuego, estos ladrillos alcanzan resistencias mayores, incluso llegando a poseer características de piedras ígneas.

*Tabla 32
Resultados del ensayo de abrasión*

| Muestra | Coccionada | Sobre Coccionada |
|-----------------|-------------------|-------------------------|
| M1 | 46.07% | 29.16% |
| M2 | 45.57% | 28.31% |
| M3 | 44.65% | 28.87% |
| M4 | 46.02% | 27.46% |
| Promedio | 45.58% | 28.45% |

Los datos y resultados se muestran en el Anexo B-3: Abrasión los Ángeles
Fuente: Elaboración propia

5.1.4 California Bearing Ratio (CBR) de suelos (laboratorio)

En la tabla 33 se tiene los valores de CBR, según el Manual de Carreteras EG -2013 los valores correspondientes para el CBR son para un 100% de densidad máxima seca y para una penetración de 0.1”, pero en el presente caso se observa que los valores de CBR para 0.2” son mayores que 0.1”. El Manual de Ensayo de Materiales indica que si esto sucede se realice un ensayo más de comprobación, si en este nuevo ensayo se observa lo mismo, el valor de CBR se deberá tomar para una penetración de 0.2”.

Tabla 33
Resultados del ensayo de CBR, muestra coccionada y sobre coccionada

| Muestra | Muestra coccionada | | Muestra sobre coccionada | |
|-----------------|--------------------|---------------|--------------------------|---------------|
| | 0.1" | 0.2" | 0.1" | 0.2" |
| M1 | 39.00% | 53.50% | 51.00% | 67.84% |
| M2 | 46.00% | 56.60% | 55.20% | 70.50% |
| M3 | 40.00% | 54.00% | 52.10% | 65.40% |
| M4 | 46.00% | 51.10% | 55.00% | 64.00% |
| Promedio | 42.75% | 53.80% | 48.33% | 66.94% |

En la tabla 34 se tiene los resultados del ensayo de comprobación de CBR donde se observa el mismo patrón (valor de CBR para 0.2” de penetración es mayor que 0.1”) en tal caso se tomaron los valores para 0.2” de penetración.

Tabla 34
Resultados del ensayo de comprobación de CBR

| MUESTRA | Muestra coccionada | | Muestra sobre coccionada | |
|----------|--------------------|--------|--------------------------|--------|
| | 0.1" | 0.2" | 0.1" | 0.2" |
| M | 39.00% | 53.00% | 52.00% | 66.00% |

Los datos y resultados se muestran en el anexo B-4.1.5: CBR – comprobación.
Fuente: Elaboración propia

De la tabla 33 se observa un valor promedio de 53.80% de CBR para muestra coccionada y de 66.94% de CBR para muestra sobre coccionada, resultando así que todas las muestras cumplen con lo que exige la EG-2013 para CBR que exige un valor mínimo de 40%.

De los resultados anteriores se observa que el valor de CBR para la muestra sobre coccionada es mayor que para la coccionada, este indica que la muestra sobre coccionada tiene una mejor capacidad de soporte.

5.1.5 Límite líquido de los suelos (LL)

De la tabla 35, se determina que tanto la muestra coccionada y sobre coccionada no presentaron límite líquido, esto debido a que poseen poca cantidad de material fino, lo cual está dentro de lo establecido en los requerimientos de materiales para sub base debido a que dan un valor máximo de límite líquido más no un valor mínimo.

*Tabla 35
Resultados del ensayo de límite líquido*

| Muestra | Muestra coccionada | Muestra sobre coccionada |
|----------------|---------------------------|---------------------------------|
| M | NP | NP |

Fuente: Elaboración propia

5.1.6 Determinación del límite plástico (L.P.) de los suelos índice de plasticidad (I.P.)

De la tabla 36 se observa que la muestra coccionada y sobre coccionada no presentaron índice de plasticidad, por la poca presencia de material fino. Según la norma EG-2013 establece un valor máximo de 4% de índice de plasticidad para material de sub base, por lo tanto, los residuos reciclados cumplen con este parámetro.

*Tabla 36
Resultados del ensayo de índice de plasticidad*

| Muestra | Muestra coccionada | Muestra sobre coccionada |
|----------------|---------------------------|---------------------------------|
| M | NP | NP |

Fuente: Elaboración propia

5.1.7 Valor Equivalente de Arena de suelos y agregado fino

De la tabla 37 los resultados del ensayo de equivalente de arena correspondiente al material coccionado da como promedio 85.73% y para material sobre coccionado un valor de 100%. Estos valores indican la mínima cantidad de material fino (arcilla), corroborando la no

presencia del índice de plasticidad. El valor de equivalente de arena cumple con los requerimientos que exige la EG-2013, el cual indica un valor mínimo del 35%.

Tabla 37
Resultados del ensayo de equivalente de arena

| Muestra | Muestra coccionada | Muestra sobre coccionada |
|-----------------|---------------------------|---------------------------------|
| M1 | 85.24% | 100.00% |
| M2 | 84.85% | 100.00% |
| M3 | 86.22% | 100.00% |
| M4 | 85.16% | 100.00% |
| Promedio | 85.37% | 100.00% |

Los datos y resultados se muestran en el Anexo B-5: Equivalente de arena
Fuente: Elaboración propia

5.1.8 Sales Solubles en agregados para pavimentos flexibles

En la tabla 38 el valor de sales solubles para muestra coccionada de 0.14%, mientras que para muestra sobre coccionada un valor de 0.02%, ambos valores cumplen con los requisitos exigidos por la EG-2013, el cual indica un valor máximo de 1% de sales solubles.

Tabla 38
Resultados del ensayo de sales solubles

| Nombre de Muestra | Muestra coccionada | Muestra sobre |
|--------------------------|---------------------------|----------------------|
| M1 | 0.13% | 0.02% |
| M2 | 0.13% | 0.02% |
| M3 | 0.14% | 0.02% |
| M4 | 0.14% | 0.02% |
| PROMEDIO (%) | 0.14% | 0.02% |

Los datos y resultados se muestran en el Anexo B-6: Sales solubles
Fuente: Elaboración propia

5.1.9 Partículas chatas y alargadas en agregados

En la tabla 39 se observa los resultados del ensayo de partículas chatas y alargadas, en el cual el valor promedio para muestra coccionada es 18.13% y para muestra sobre coccionada es 16.37%. ambos valores cumplen con la EG-2013 el cual indica un valor máximo de 20% para partículas chatas y alargadas.

*Tabla 39
Resultados del ensayo de partículas chatas y alargadas*

| Muestra | Muestra coccionada | Muestra sobre coccionada |
|-----------------|---------------------------|---------------------------------|
| M1 | 17.16% | 14.81% |
| M2 | 17.60% | 14.94% |
| M3 | 20.85% | 20.77% |
| M4 | 16.91% | 14.97% |
| Promedio | 18.13% | 16.37% |

Los datos y resultados se muestran en el Anexo B-7: Partículas chatas y alargadas.

Fuente: Elaboración propia

Cabe resaltar que el material para la muestra M3, tanto coccionada como sobre coccionada superan el 20% de partículas chatas y alargadas, esto se debe a que este ensayo relaciona el espesor/ancho y ancho/largo, para para lo cual la muestra proviene de ladrillos bloquer el cual presenta caras delgadas, dando así un espesor constante.

5.1.10 Absorción de agregados

5.1.10.1 Absorción de agregados finos

En la tabla 40 el porcentaje de absorción promedio del agregado fino de la muestra coccionada es 19.43%, mientras que el porcentaje de absorción para la muestra sobre coccionada es 7.33%.

Tabla 40
Resultados del ensayo de absorción de agregado fino

| Muestra | Muestra coccionada | Muestra sobre coccionada |
|-----------------|---------------------------|---------------------------------|
| M1 | 19.26% | 7.57% |
| M2 | 18.76% | 7.67% |
| M3 | 19.37% | 7.30% |
| M4 | 20.34% | 6.79% |
| Promedio | 19.43% | 7.33% |

Los datos y resultados se muestran en el Anexo B-8.3 y B- 8.4: Absorción de agregado fino
Fuente: Elaboración propia

5.1.10.2 Absorción de agregados gruesos

En la tabla 41 se observa el valor promedio de la absorción para la muestra coccionada es 14.03%, mientras que para la muestra sobre coccionada es 2.24%.

Tabla 41
Resultados del ensayo de absorción para agregados gruesos

| Muestra | Muestra coccionada | Muestra sobre coccionada |
|-----------------|---------------------------|---------------------------------|
| M1 | 13.81% | 2.32% |
| M2 | 14.71% | 2.16% |
| M3 | 14.47% | 2.28% |
| M4 | 13.13% | 2.21% |
| Promedio | 14.03% | 2.24% |

Los datos y resultados se muestran en el anexo B-8.1 y 8.2: Absorción de agregado grueso.
Fuente: Elaboración propia

5.1.11 Módulo de reacción

Tabla 42
Resultados del ensayo de módulo de reacción

| Modulo de reacción (k) | Muestra coccionada | Muestra sobre coccionada |
|-------------------------------|---------------------------|---------------------------------|
| K (pci) | 388.43 | 421.34 |

Los datos y resultados se muestran en el capítulo IV, ítem 4.1.11

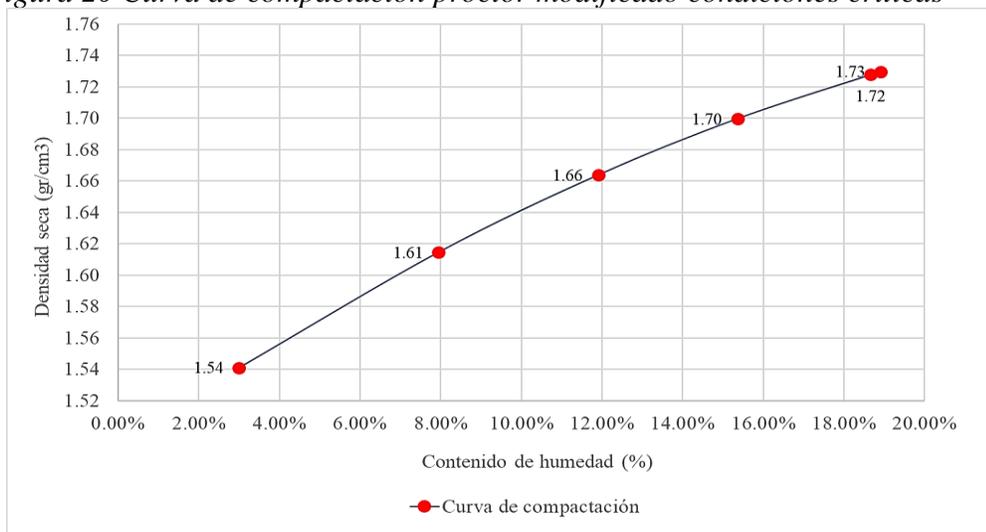
Fuente: Elaboración propia

En la tabla 42 se muestra el valor del módulo de reacción o módulo de balasto, el cual indica un valor de 388.43 pci para muestra coccionada y 421.34 pci para muestra sobre coccionada, de acuerdo a la tabla tres (3) del capítulo II, indica que las gravas están en el rango de 300 a 450 pci, esto quiere decir que el valor de módulo de reacción tanto para muestra coccionada como sobre coccionada indica que tiene capacidad portante buena. Cabe destacar que para el ensayo de módulo de reacción se utilizó una placa de nueve centímetros (9cm) de diámetro, por tanto, estos valores no son exactos y presentan un margen de error.

5.2 Comportamiento del proctor modificado en condiciones críticas

Se realizó un ensayo adicional de proctor modificado en condiciones críticas, con el fin de comprobar la densidad y ver el comportamiento del material en estas condiciones. Para lo cual se realizó el mismo procedimiento mencionado para proctor modificado con la única diferencia que el material de la primera compactación (contenido de humedad inicial) se siguió reutilizando, para incremento de humedad del 4% (200ml del peso inicial).

Figura 20 Curva de compactación proctor modificado condiciones críticas



Los datos y resultados de la curva de compactación en encuentran en el anexo B-9. Fuente: Elaboración propia

En la figura 20 se muestra la curva de compactación del ensayo de proctor modificado en condiciones críticas, en la cual se observa que la curva de compactación tiende a un incremento a medida que se incorpora humedad, no obstante, así se puede observar que para el punto cinco (5) de la curva de compactación el material al ser compactado tenía humedad excesiva, la cual se evidenciaba cuando el agua empezaba a filtrar por la base del molde de compactación. En el punto seis (6) de compactación la muestra tenía un mayor contenido de humedad (semejante al lodo) el cual ya no era compresible la muestra. (ver anexo E: fotografía 32).

Capítulo VI: Aplicación de los residuos reciclados de ladrillos en sub base de pavimentos

6.1 Diseño de pavimentos por el método de la Portland Cement Association (PCA)

Se realizó el diseño de pavimento rígido por el método de la PCA para material coccionado y sobre coccionado, se tomaron los valores promedio de CBR, ver tabla 43:

*Tabla 43
Valores promedio de CBR para diseño de pavimento*

| Material | CBR (0.2") |
|-----------------|-------------------|
| M-C | 53.80% |
| M-SC | 66.94% |

M-C: muestra coccionada, M-SC: muestra sobre coccionada
Fuente: Elaboración propia

Estos valores de CBR (53.80% y 66.94%) se asumieron para el diseño como valores para la sub rasante de tal manera que se pueda apreciar la variación del espesor de la carpeta de rodadura del pavimento.

- Datos: los datos obtenidos de tráfico se basaron en el expediente: “Mejoramiento del servicio de transitabilidad vehicular y peatonal de la urbanización San Judas Chico del distrito de Wanchac, Provincial del Cusco”, el cual tiene fecha 16 de abril del 2018.

6.1.1 Estudio del tráfico

En la tabla 44 se observan los datos del volumen de tráfico, la tabla 45 se observa el transito promedio diario semanal TDS.

Tabla 44
Volumen de tráfico Actual

| Tipo de vehículo | Cantidad de vehículos (conteo directo semanal) | | | | | | |
|-------------------|--|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|-----------|
| | Lunes | Martes | Miércoles | Jueves | Viernes | Sábado | Domingo |
| Automóviles | 35 | 25 | 29 | 31 | 28 | 42 | 29 |
| Station Wagon | 22 | 25 | 21 | 18 | 23 | 22 | 16 |
| Camioneta pick-up | 25 | 24 | 23 | 24 | 26 | 25 | 20 |
| Camioneta panel | 9 | 8 | 7 | 5 | 6 | 8 | 7 |
| Camioneta rural | 10 | 12 | 13 | 11 | 10 | 12 | 14 |
| Camión C2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Ómnibus B2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 |
| TOTAL | 103 | 97 | 95 | 91 | 96 | 111 | 88 |

Fuente: “Mejoramiento del servicio de transitabilidad vehicular y peatonal de la urbanización San Judas Chico del distrito de Wanchac, Provincial del Cusco”

Tabla 45
Transito promedio diario semanal (TPDS)

| Tipo de vehículo | Cantidad de vehículos | | | | | | | PROMEDIO |
|---|-----------------------|--------|-----------|--------|---------|--------|---------|------------|
| | Lunes | Martes | Miércoles | Jueves | Viernes | Sábado | Domingo | |
| Automóviles | 35 | 25 | 29 | 31 | 28 | 42 | 29 | 32 |
| Station Wagon | 22 | 25 | 21 | 18 | 23 | 22 | 16 | 21 |
| Camioneta pick-up | 25 | 24 | 23 | 24 | 26 | 25 | 20 | 24 |
| Camioneta panel | 9 | 8 | 7 | 5 | 6 | 8 | 7 | 8 |
| Camioneta rural | 10 | 12 | 13 | 11 | 10 | 12 | 14 | 12 |
| Camión C2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Ómnibus B2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 |
| TRANSITO PROMEDIO DIARIO SEMANAL (TPDS): | | | | | | | | 100 |

Fuente: “Mejoramiento del servicio de transitabilidad vehicular y peatonal de la urbanización San Judas Chico del distrito de Wanchac, Provincial del Cusco”

6.1.1.1 *Transito promedio diario anual (TPDA)*

$$TPDA = TPDS + A$$

$$A = K \times E$$

Donde:

E (Error estándar de la media) = 3.08

K (Número de desviaciones estándar correspondiente al nivel de confiabilidad deseado: 1.64, para una confiabilidad del 95%.

$$TPDA = 100 + 1.64 \times 3.08 = 106 \text{ vehic/día}$$

6.1.1.2 Índice medio futuro (IMDF)

$$IMDF = TPDA \times F$$

- F (factor de crecimiento para un tiempo de 20 años y una tasa anual de 4.4% = 2.37

$$IMDF = 251 \text{ vehic/día}$$

6.1.1.3 Carril de diseño

- Distribución direccional DD: 50%.
- Distribución por pista DP, según la figura 33 se adopta el valor de 100% por tener una pista en cada dirección.

Figura 21 Distribución por pista

| Número de pistas en cada dirección | Porcentaje de tránsito en la pista de diseño |
|------------------------------------|--|
| 1 | 100% |
| 2 | 80 - 100% |
| 3 | 60 - 80% |
| 4 o más | 50 - 75% |

Fuente: Portland Cement Association

6.1.1.4 Tránsito de diseño

Tabla 46
Tránsito de diseño

| Vehículo | TPDF | DD | DP | Periodo diseño | Días año | repeticiones de carga |
|-------------------|--------|-----|----|----------------|----------|-----------------------|
| Camionetas | 110.44 | 0.5 | 1 | 20 | 365 | 403106 |
| Camión c2 | 2.51 | 0.5 | 1 | 20 | 365 | 9162 |
| Bus b2 | 5.02 | 0.5 | 1 | 20 | 365 | 18323 |
| Total | | | | | | 430591 |

Fuente: “Mejoramiento del servicio de transitabilidad vehicular y peatonal de la urbanización San Judas Chico del distrito de Wanchac, Provincial del Cusco”

6.1.1.5 Carga de diseño

En caso de tener la presencia de ejes Tridem, la carga se debe dividir entre tres, para poder emplear los ábacos de ejes simples en los monogramas de diseño para calcular el número de repeticiones permisibles, en la tabla 57 se observan las cargas por eje según tipo de vehículo.

Tabla 47 Carga por eje (ton)

| Vehículo | Carga por eje (ton.) | | Peso bruto Max. |
|-----------|----------------------|------------------------------------|-----------------|
| | Eje delantero | Carga por eje o conjunto posterior | |
| Camioneta | | 3.5 | 3.5 |
| Camión c2 | 7 | 11 | 18 |
| Bus b2 | 7 | 11 | 18 |

Fuente: “Mejoramiento del servicio de transitabilidad vehicular y peatonal de la urbanización San Judas Chico del distrito de Wanchac, Provincial del Cusco”

6.1.1.6 Factor de seguridad

Se realiza tomando en cuenta los datos de la figura 22, la cual indica un factor de seguridad de 1 para calles con volumen pequeño de vehículos pesados.

Figura 22 Valores de seguridad por carga

| Tipo de Obra (cm.) | Factor de seguridad por Carga (FSC) | Espesor en |
|---|-------------------------------------|------------|
| Carreteras de primer orden autopistas y otras y gran volumen de vehículos | 1.2 | 30 a 40 |
| Carretera y avenidas con volumen Moderado de vehículos pesados..... | 1.1 | 25 a 35 |
| Carretera y calles residenciales y otros con volúmenes pequeños De vehículos pesados..... | 1.0 | 20 a 30 |

Fuente: Portland Cement Association

6.1.1.7 Pesos por ejes según vehículo

En la tabla 48 se observa los valores de peso para cada eje según tipo de vehículo.

Tabla 48
Peso por eje según vehículo

| Vehículo | FSC | Eje delantero | Eje trasero | Eje delantero (ton) | Eje trasero (ton) |
|------------------|------------|----------------------|--------------------|----------------------------|--------------------------|
| Camioneta | 1 | 1.5 | 2 | 1.5 | 2 |
| Camión c2 | 1 | 7 | 11 | 7 | 11 |
| Bus b2 | 1 | 7 | 11 | 7 | 11 |

Fuente: “Mejoramiento del servicio de transitabilidad vehicular y peatonal de la urbanización San Judas Chico del distrito de Wanchac, Provincial del Cusco”

6.1.1.8 Determinación del valor de módulo de reacción “K”

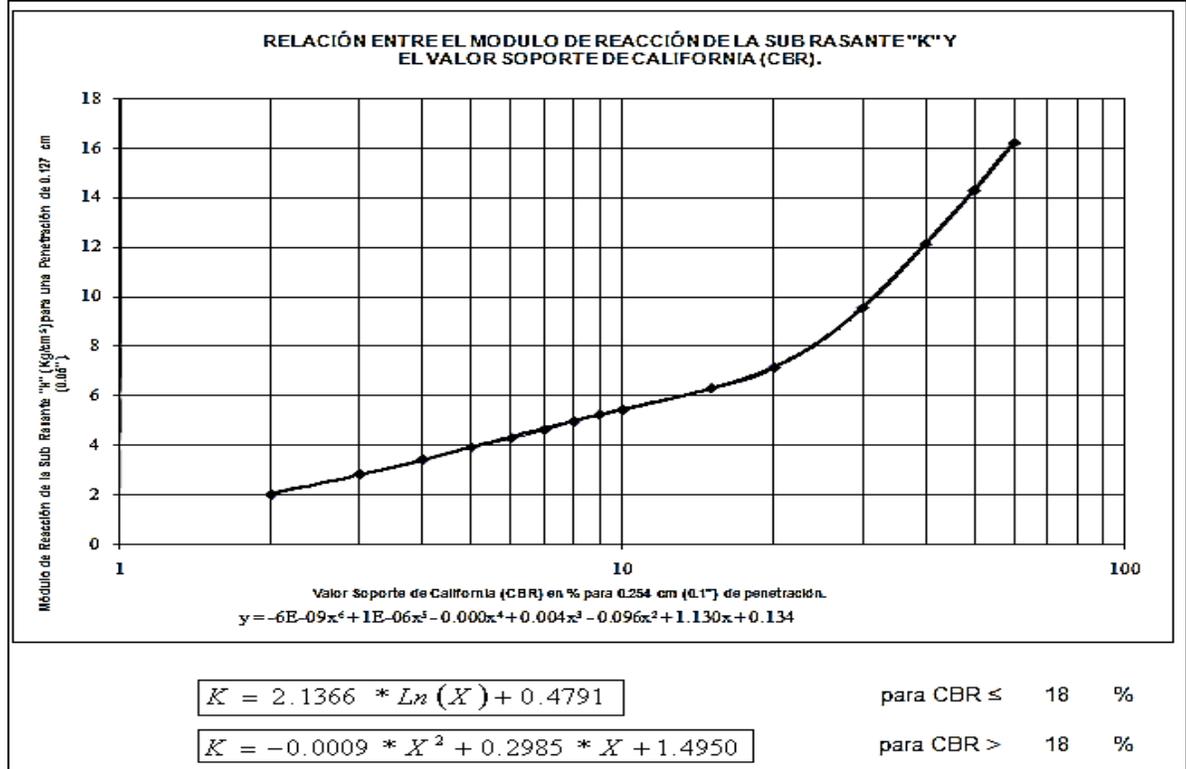
Con los valores de CBR (M-C: 53.80% y M-SC:66.94%) y con el ábaco de relación de “K” y CBR (ver figura 35), se determina los valores obtenidos en la tabla 49.

Tabla 49
Valores de K según CBR, diseño de pavimento

| Material | CBR (%) | "K" (kg/cm3) |
|-----------------|----------------|---------------------|
| M-C | 53.80% | 14.95 |
| M-SC | 66.94% | 17.44 |

Fuente: Elaboración propia

Figura 23 Abaco de relación de "K" y el valor de CBR



Fuente: Portland Cement Association

- Módulo de rotura del concreto: MR: 0.19 x f^c, para f^c= 210 kg/cm²
- MR= 39.9 Kg/cm²

6.2 Diseño del pavimento para material coccionado

6.2.1 Análisis por fatiga

Asumir un espesor de losa de 17cm, de la figura 24 y para los valores para una losa de 17 cm y K_c cercanos al valor de diseño se iteraron entre los valores de 19.6 y 18.1 dando como resultado: Esfuerzo equivalente = **18.115 kg/cm²**

$$\text{Relación de esfuerzos:} = \frac{\text{Esfuerzo equivalente}}{\text{Módulo de ruptura}} = \frac{18.1}{39.9} = \mathbf{0.45}$$

Figura 24 Esfuerzo equivalente para valore K de la sub rasante para una losa de concreto con berma sin pavimento

| Espesor losa [cm.] | K - Módulo de reacción sub-rasante [Kg/cm ³] | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------|--|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | 2 | | 4 | | 6 | | 8 | | 10 | | 15 | | 20 | |
| | Eje Simple | Eje Tandem | Eje Simple | Eje Tandem | Eje Simple | Eje Tandem | Eje Simple | Eje Tandem | Eje Simple | Eje Tandem | Eje Simple | Eje Tandem | Eje Simple | Eje Tandem |
| 12 | 43.0 | 35.6 | 37.8 | 30.1 | 35.1 | 28.1 | 33.1 | 26.8 | 31.7 | 25.7 | 29.1 | 24.3 | 27.4 | 23.5 |
| 13 | 38.4 | 32.3 | 33.8 | 27.3 | 31.4 | 25.3 | 29.7 | 24.0 | 28.4 | 23.0 | 26.1 | 21.6 | 24.6 | 20.8 |
| 14 | 34.6 | 29.6 | 30.5 | 24.9 | 28.3 | 22.9 | 26.8 | 21.6 | 25.6 | 20.8 | 23.7 | 19.4 | 22.3 | 18.5 |
| 15 | 31.4 | 27.2 | 27.7 | 22.9 | 25.7 | 20.9 | 24.4 | 19.7 | 23.3 | 18.8 | 21.6 | 17.5 | 20.4 | 16.7 |
| 16 | 28.7 | 25.2 | 25.3 | 21.2 | 23.5 | 19.3 | 22.3 | 18.1 | 21.3 | 17.3 | 19.7 | 16.0 | 18.7 | 15.2 |
| 17 | 26.3 | 23.5 | 23.3 | 19.7 | 21.6 | 17.9 | 20.5 | 16.7 | 19.6 | 16.0 | 18.1 | 14.7 | 17.2 | 13.9 |
| 18 | 24.3 | 22.0 | 21.5 | 18.4 | 19.9 | 16.6 | 18.9 | 15.5 | 18.1 | 14.8 | 16.8 | 13.6 | 15.9 | 12.8 |
| 19 | 22.5 | 20.7 | 19.9 | 17.2 | 18.5 | 15.6 | 17.5 | 14.5 | 16.8 | 13.8 | 15.6 | 12.6 | 14.8 | 11.9 |
| 20 | 21.0 | 19.5 | 18.5 | 16.2 | 17.2 | 14.6 | 16.4 | 13.6 | 15.6 | 12.9 | 14.5 | 11.8 | 13.8 | 11.1 |
| 21 | 19.6 | 18.5 | 17.3 | 15.3 | 16.1 | 13.8 | 15.2 | 12.9 | 14.6 | 12.2 | 13.6 | 11.1 | 12.8 | 10.4 |
| 22 | 18.3 | 17.5 | 16.2 | 14.5 | 15.0 | 13.1 | 14.2 | 12.2 | 13.7 | 11.5 | 12.8 | 10.5 | 12.0 | 9.8 |
| 23 | 17.2 | 16.7 | 15.2 | 13.8 | 14.1 | 12.4 | 13.3 | 11.5 | 12.8 | 10.9 | 12.0 | 9.9 | 11.3 | 9.2 |
| 24 | 16.2 | 15.9 | 14.3 | 13.1 | 13.3 | 11.8 | 12.5 | 11.0 | 12.1 | 10.4 | 11.3 | 9.4 | 10.7 | 8.8 |
| 25 | 15.3 | 15.2 | 13.5 | 12.5 | 12.6 | 11.2 | 11.9 | 10.5 | 11.4 | 9.9 | 10.7 | 8.9 | 10.1 | 8.3 |
| 26 | 14.5 | 14.5 | 12.8 | 12.0 | 11.9 | 10.7 | 11.3 | 10.0 | 10.8 | 9.4 | 10.1 | 8.5 | 9.5 | 8.0 |
| 27 | 13.8 | 13.9 | 12.1 | 11.5 | 11.3 | 10.3 | 10.7 | 9.5 | 10.3 | 9.0 | 9.5 | 8.1 | 9.0 | 7.6 |
| 28 | 13.1 | 13.4 | 11.5 | 11.0 | 10.7 | 9.9 | 10.2 | 9.1 | 9.8 | 8.6 | 9.0 | 7.8 | 8.6 | 7.3 |
| 29 | 12.5 | 12.9 | 11.0 | 10.6 | 10.2 | 9.5 | 9.7 | 8.8 | 9.3 | 8.3 | 8.6 | 7.5 | 8.2 | 6.9 |
| 30 | 11.9 | 12.4 | 10.5 | 10.2 | 9.7 | 9.1 | 9.2 | 8.5 | 8.9 | 8.0 | 8.2 | 7.2 | 7.8 | 6.6 |
| 31 | 11.3 | 12.0 | 10.0 | 9.9 | 9.3 | 8.8 | 8.8 | 8.1 | 8.4 | 7.7 | 7.8 | 6.9 | 7.4 | 6.4 |
| 32 | 10.9 | 11.6 | 9.6 | 9.5 | 8.9 | 8.5 | 8.4 | 7.8 | 8.0 | 7.4 | 7.5 | 6.7 | 7.1 | 6.2 |
| 33 | 10.4 | 11.2 | 9.2 | 9.2 | 8.5 | 8.2 | 8.0 | 7.6 | 7.7 | 7.1 | 7.2 | 6.4 | 6.8 | 6.0 |
| 34 | 10.0 | 10.8 | 8.8 | 8.9 | 8.1 | 7.9 | 7.7 | 7.3 | 7.3 | 6.9 | 6.9 | 6.2 | 6.6 | 5.8 |

Fuente: Portland Cement Association

6.2.2 Análisis por erosión

De acuerdo a la figura 25, y para valores, para una losa de 17 cm y Kc cercanos a nuestro valor de diseño se iteraron entre los valore de 3.02 y 3.01 dando como resultado:

Factor de erosión: = 3.01

Figura 25 Abaco para el cálculo de Repeticiones Permitidas según la Factor de erosión

Factor de erosión
Junta con pasadores - Berma sin pavimento

| Espesor losa [cm.] | K - Módulo de reacción sub-rasante [Kg/cm ³] | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------|--|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | 2 | | 4 | | 6 | | 8 | | 10 | | 15 | | 20 | |
| | Eje Simple | Eje Tandem | Eje Simple | Eje Tandem | Eje Simple | Eje Tandem | Eje Simple | Eje Tandem | Eje Simple | Eje Tandem | Eje Simple | Eje Tandem | Eje Simple | Eje Tandem |
| 12 | 3.51 | 3.61 | 3.50 | 3.57 | 3.49 | 3.54 | 3.48 | 3.52 | 3.48 | 3.51 | 3.47 | 3.49 | 3.45 | 3.47 |
| 13 | 3.41 | 3.53 | 3.39 | 3.48 | 3.39 | 3.45 | 3.38 | 3.43 | 3.38 | 3.41 | 3.37 | 3.39 | 3.35 | 3.37 |
| 14 | 3.32 | 3.45 | 3.30 | 3.39 | 3.29 | 3.36 | 3.28 | 3.34 | 3.28 | 3.33 | 3.27 | 3.30 | 3.25 | 3.28 |
| 15 | 3.23 | 3.37 | 3.21 | 3.31 | 3.20 | 3.28 | 3.19 | 3.26 | 3.19 | 3.24 | 3.18 | 3.22 | 3.16 | 3.20 |
| 16 | 3.15 | 3.30 | 3.12 | 3.24 | 3.12 | 3.21 | 3.10 | 3.18 | 3.10 | 3.17 | 3.09 | 3.14 | 3.08 | 3.12 |
| 17 | 3.07 | 3.24 | 3.05 | 3.17 | 3.04 | 3.14 | 3.02 | 3.11 | 3.02 | 3.10 | 3.01 | 3.07 | 3.00 | 3.04 |
| 18 | 2.99 | 3.18 | 2.97 | 3.11 | 2.96 | 3.07 | 2.95 | 3.05 | 2.94 | 3.03 | 2.93 | 3.00 | 2.92 | 2.97 |
| 19 | 2.93 | 3.12 | 2.90 | 3.05 | 2.89 | 3.01 | 2.88 | 2.98 | 2.87 | 2.97 | 2.86 | 2.93 | 2.85 | 2.91 |
| 20 | 2.86 | 3.06 | 2.83 | 3.00 | 2.83 | 2.95 | 2.81 | 2.92 | 2.80 | 2.91 | 2.79 | 2.87 | 2.79 | 2.84 |
| 21 | 2.80 | 3.01 | 2.77 | 2.93 | 2.76 | 2.89 | 2.74 | 2.86 | 2.74 | 2.85 | 2.73 | 2.81 | 2.72 | 2.78 |
| 22 | 2.74 | 2.96 | 2.71 | 2.88 | 2.70 | 2.84 | 2.68 | 2.81 | 2.68 | 2.80 | 2.67 | 2.76 | 2.66 | 2.73 |
| 23 | 2.68 | 2.91 | 2.65 | 2.83 | 2.64 | 2.79 | 2.62 | 2.76 | 2.62 | 2.74 | 2.61 | 2.70 | 2.59 | 2.67 |
| 24 | 2.63 | 2.87 | 2.60 | 2.78 | 2.59 | 2.74 | 2.57 | 2.71 | 2.56 | 2.69 | 2.55 | 2.65 | 2.54 | 2.62 |
| 25 | 2.58 | 2.83 | 2.54 | 2.74 | 2.54 | 2.69 | 2.52 | 2.67 | 2.51 | 2.65 | 2.50 | 2.60 | 2.49 | 2.57 |
| 26 | 2.53 | 2.79 | 2.50 | 2.70 | 2.49 | 2.65 | 2.47 | 2.62 | 2.46 | 2.61 | 2.45 | 2.56 | 2.44 | 2.53 |
| 27 | 2.48 | 2.75 | 2.45 | 2.66 | 2.44 | 2.61 | 2.42 | 2.58 | 2.41 | 2.57 | 2.40 | 2.52 | 2.39 | 2.49 |
| 28 | 2.43 | 2.72 | 2.40 | 2.63 | 2.39 | 2.57 | 2.37 | 2.54 | 2.37 | 2.53 | 2.35 | 2.48 | 2.34 | 2.45 |
| 29 | 2.39 | 2.69 | 2.36 | 2.59 | 2.35 | 2.54 | 2.33 | 2.51 | 2.32 | 2.49 | 2.31 | 2.44 | 2.30 | 2.41 |
| 30 | 2.34 | 2.65 | 2.31 | 2.56 | 2.30 | 2.50 | 2.28 | 2.47 | 2.28 | 2.45 | 2.26 | 2.41 | 2.25 | 2.37 |
| 31 | 2.30 | 2.62 | 2.27 | 2.52 | 2.26 | 2.47 | 2.24 | 2.43 | 2.24 | 2.42 | 2.22 | 2.37 | 2.21 | 2.34 |
| 32 | 2.26 | 2.59 | 2.23 | 2.49 | 2.22 | 2.43 | 2.20 | 2.40 | 2.19 | 2.38 | 2.18 | 2.33 | 2.17 | 2.30 |
| 33 | 2.22 | 2.56 | 2.19 | 2.46 | 2.18 | 2.40 | 2.16 | 2.37 | 2.15 | 2.35 | 2.14 | 2.30 | 2.13 | 2.27 |
| 34 | 2.18 | 2.53 | 2.15 | 2.43 | 2.14 | 2.37 | 2.12 | 2.33 | 2.12 | 2.32 | 2.10 | 2.27 | 2.09 | 2.24 |

Fuente: Portland Cement Association.

6.3 Cálculo del número de repeticiones permitidas

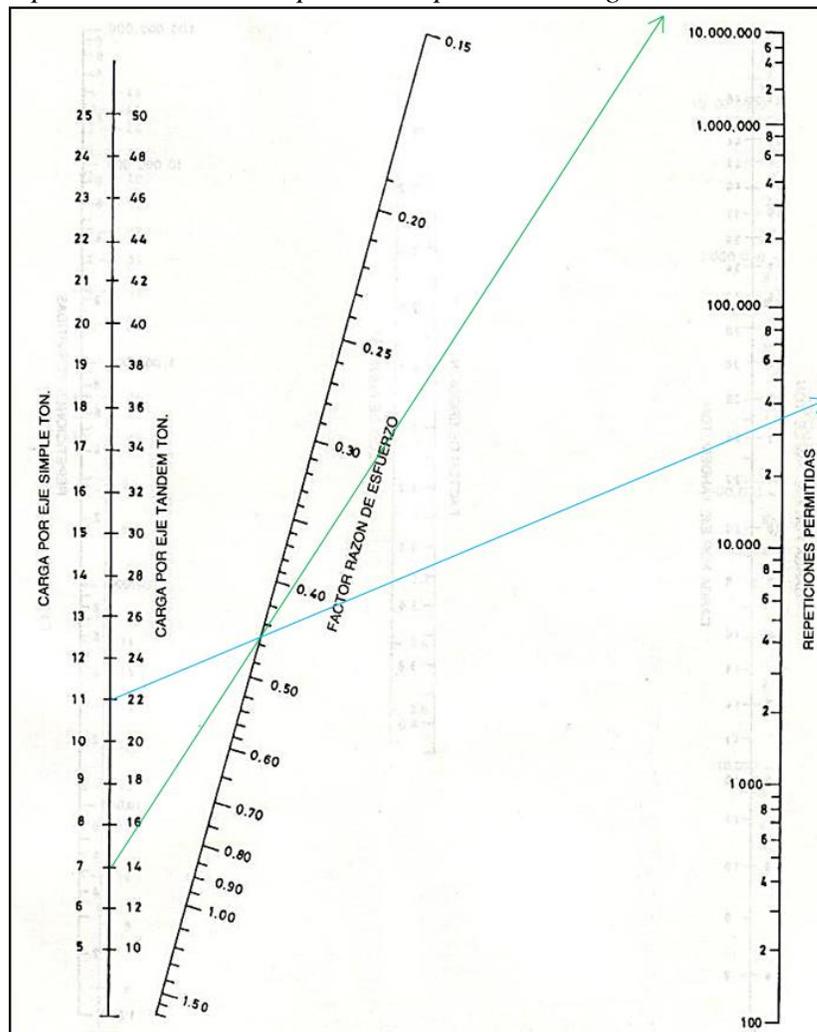
En la tabla 50 se tiene los pesos por eje según vehículo, con estos datos y el esfuerzo equivalente por fatiga (0.45) y erosión (3.01) se determina el número de repeticiones permitidas en el ábaco (ver figuras 26 y 27).

Tabla 50
Peso por eje según vehículo

| Vehículo | Eje delantero (ton) | Eje trasero (ton) |
|-----------|---------------------|-------------------|
| Camioneta | 1.5 | 2 |
| Camión c2 | 7 | 11 |
| Bus b2 | 7 | 11 |

Fuente: Elaboración propia

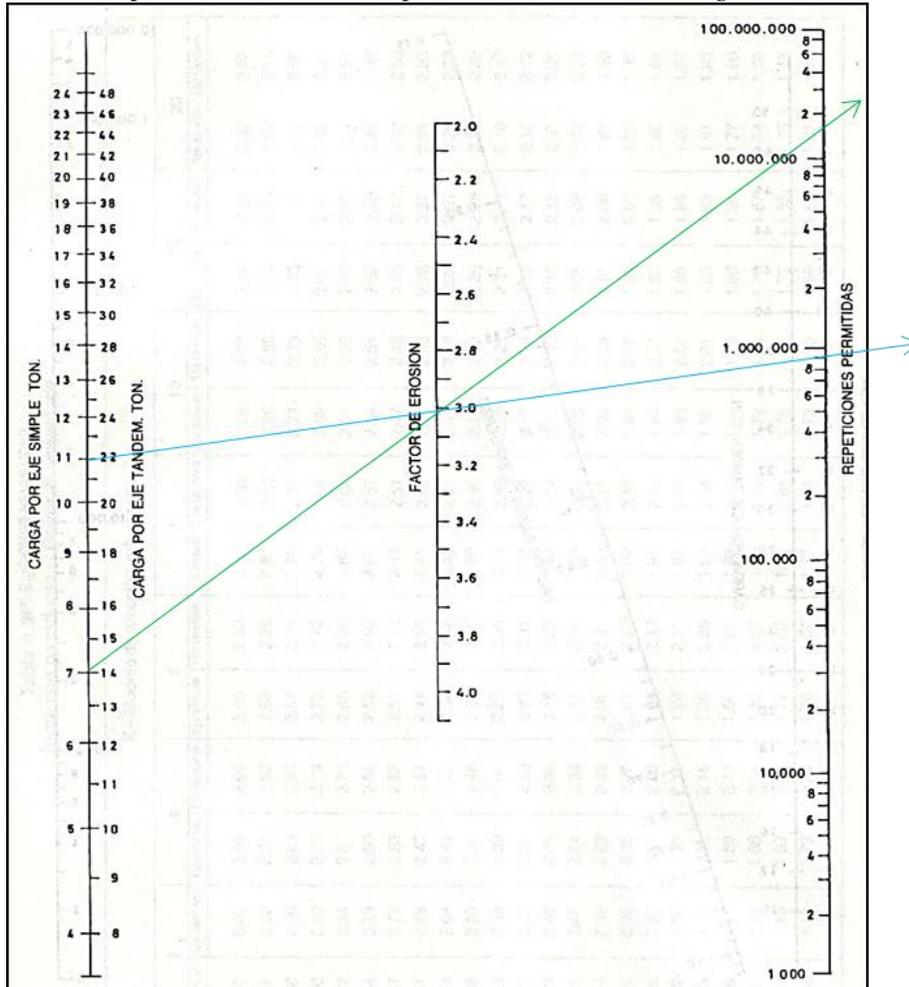
Figura 26 Abaco para el cálculo de repeticiones permitidas según la relación de esfuerzos



Nota: Trazar una recta que pase por los puntos 7 (referida a la carga del eje delantero del camión C2) y por el valor 0.45 (relación de esfuerzo) determinar el valor en que corta a la recta *repeticiones permitidas*, realizar el mismo procedimiento para la carga de 11tn y 0.45 de relación de esfuerzo.

Fuente: Portland Cement Association

Figura 27 Abaco para el cálculo de Repeticiones Permitidas según la Factor de erosión



Nota: Trazar una recta que pase por los puntos 7 (referida a la carga del eje delantero del camión C2) y por el valor 3.01 (factor erosión) determinar el valor en que corta a la recta *repeticiones permitidas*, realizar el mismo procedimiento para la carga de 11tn y 3.01 del factor de erosión.

Fuente: Portland Cement Association

Tabla 51
Resumen de datos de repeticiones permitidas, espesor de 17cm

| Carga del eje (ton) | Repeticiones esperadas | Análisis por fatiga | | Análisis por erosión | |
|---------------------|------------------------|-------------------------|---------------|-------------------------|--------------|
| | | Repeticiones permitidas | % De fatiga | Repeticiones permitidas | % De daño |
| 1.5 | 403106 | ilimitadas | | ilimitadas | |
| 2 | 403106 | ilimitadas | | ilimitadas | |
| 7 | 27485 | 10000000 | 0.275 | 17000000 | 0.162 |
| 11 | 27485 | 33000 | 83.288 | 900000 | 3.054 |
| | | Total | 83.563 | Total | 3.216 |

Fuente: Elaboración Propia

Cuando la sumatoria de esfuerzos (83.56%) no supera el 100 % se considera como satisfactorio, si el resultado es muy bajo, se puede considerar como sobredimensionado. (Se considera ideal cuando la sumatoria es cercana al 100 %)

- El espesor asumido (17cm) satisface las solicitaciones.

6.4 Diseño del pavimento para material sobre coccionado

6.4.1 Análisis por fatiga

Asumir un espesor de losa de 16.5cm, de la figura 36 y para los valores para una losa de 16.5 cm y Kc cercanos al valor de diseño se iteraron entre los valores de 18.9 y 17.95 dando como resultado:

$$\text{Esfuerzo equivalente} = \mathbf{18.436 \quad \text{kg/cm}^2}$$

$$\text{Relación de esfuerzos:} = \frac{\text{Esfuerzo equivalente}}{\text{Módulo de ruptura}} = \frac{18.4}{39.9} = \mathbf{0.46}$$

6.4.2 Análisis por erosión

De acuerdo a la figura 25, y para valores, para una losa de 16.5 cm y Kc cercanos a nuestro valor de diseño se iteraron entre los valores de 3.05 y 3.04 dando como resultado:

$$\text{Factor de erosión} = \mathbf{3.05}$$

$$\text{Relación de esfuerzo} = 0.46$$

Teniendo los valores de la relación de esfuerzos, el factor de erosión y la carga por eje, realizar el mismo procedimiento descrito en el ítem 6.4. En la tabla 61 se presentan los datos obtenidos donde se ve que el porcentaje de daño (91.89%) no supera el 100% con lo cual el espesor asumido (16.5cm) satisface a las solicitaciones.

Tabla 52
Resumen de datos de repeticiones permitidas, espesor de 16.5cm

| Carga del eje (ton) | Repeticiones esperadas | Análisis por fatiga | | Análisis por erosión | |
|---------------------|------------------------|-------------------------|---------------|-------------------------|--------------|
| | | Repeticiones permitidas | % De fatiga | Repeticiones permitidas | % De daño |
| 1.5 | 403106 | ilimitadas | | ilimitadas | |
| 2 | 403106 | ilimitadas | | ilimitadas | |
| 7 | 27485 | 10000000 | 0.275 | 11000000 | 0.250 |
| 11 | 27485 | 30000 | 91.617 | 700000 | 3.926 |
| | | Total | 91.892 | Total | 4.176 |

Fuente: Elaboración propia.

- En la tabla 53 se tiene el resumen de espesores de losa para el material coccionado y sobre coccionado, donde se observa que para las mismas condiciones el material sobre coccionado tiene un menor espesor de losa en 0.5cm, lo cual indica un mejor comportamiento del material.

Tabla 53
Resultados obtenidos del diseño por el método PCA

| Material | CBR | Espesor de losa |
|------------------|--------|-----------------|
| Coccionado | 53.80% | 17cm |
| Sobre coccionado | 66.94% | 16.5cm |

6.5 Diseño de juntas

6.5.1 Juntas de Dilatación Longitudinales

6.5.1.1 Espaciamento (L)

Fórmula 1 Espaciamento de junta de dilatación longitudinal

$$L = \frac{\pi \times d^2 \times fs}{4 \times a \times h \times Yc \times f}$$

Fuente: Elaboración propia

d = diámetro de la varilla

f_s = Esfuerzo de trabajo del acero: $f_s = 0.5 \times f_y \dots$ ($f_y=4200 \text{ kg/cm}^2$)

$$f_s = 2100 \text{ kg/cm}^2$$

f = coeficiente de fricción entre paño y suelo, $f= 2$ (recomendable).

Y_c = peso específico del concreto, $Y_c=0.0024 \text{ kg/m}^3$

a = distancia de la junta al borde del pasador (cm); $a=3.00 \text{ m}$

h = espesor de la losa ($h=17$ y 16.5 cm)

Para los siguientes valores de diámetros de acero y con la fórmula 1, se calcula el espaciamiento de acero para la junta longitudinal.

Figura 28 Valores de espaciamiento de acero longitudinal según diámetro de acero

| \emptyset | L |
|-------------|--------|
| 3/8" | 0.65m. |
| 1/2" | 1.09m. |
| 5/8" | 1.70m. |
| 3/4" | 2.46m |

Fuente: Elaboración propia

Según la PCA recomienda longitudes de espaciamiento de 0,75m con lo cual para el diámetro de 1/2" se acerca a este valor.

6.5.1.2 Longitud del pasador (b).

$$b = \frac{d \times f_s}{4 \times u}$$

Donde:

u = Esfuerzo de adherencia por flexo tracción, se calcula con la siguiente fórmula:

$$u = 1.6 \times \sqrt{f'c} \dots (\text{kg/cm}^2)$$

$$f'c = 210 \quad \text{kg/cm}^2$$

$$u = 23.19 \quad \text{kg/cm}^2$$

$$L_{\text{TOTAL}} = 2 \times b$$

Figura 29 Valor de longitud del pasador según diámetro de acero

| \emptyset | b (cm) | L (cm) |
|-------------|--------|--------|
| 1/2" | 28.76 | 57.52 |

Fuente: Elaboración propia

De las figuras 28 y 29 se determina: Pasadores de varilla corrugada de 1/2" @ 0.75 m. con una longitud de 0.6 cm.

6.5.2 Juntas de Dilatación transversal

6.5.2.1 Número de Barras Necesarias (n):

$$n = \frac{P_{LLANTA}}{C}$$

Donde:

C = Capacidad de transmisión de carga por barra: 600 (dato obtenido PCA en kg)

P_{LLANTA} = Peso por llanta.

$$P_{LLANTA} = CD * F_s * 0.5 \text{ Eje Simple}$$

$$CD = 11$$

$$F_s = 1$$

$$P_{LLANTA} = 5.5 \text{ ton.}$$

$$n = 5500/600$$

$$n = 9.17 \text{ barras}$$

Se asume

$$n = 10 \text{ barras}$$

6.5.2.2 Espaciamiento entre Barras (e):

$$e = \frac{1.8 \times L}{(n - 1)}$$

Donde:

$$L = 2 \times b$$

f_s = Esfuerzo de trabajo del acero.

$$f_s = 0.50 \times f_y \text{ kg/cm}^2$$

$$f_s = 0.50 \times 4200$$

$$f_s = 2100 \text{ Kg/cm}^2$$

u = Esfuerzo de adherencia por flexo tracción.

- $u = 29 \text{ Kg/cm}^2$ para barras corrugadas.
- $u = 14 \text{ Kg/cm}^2$ para barras lisas.

Figura 30 Valores de espaciamiento entre barras

| \emptyset | b | L | e | @ |
|-------------|----------|----------|----------|----------|
| 5/8" | 59.63 | 119.25 | 23.85 | 20 |
| 3/4" | 71.63 | 143.25 | 28.65 | 25 |
| 1" | 95.25 | 190.5 | 38.1 | 35 |

Fuente: Elaboración propia

De los resultados se tiene 0.35 m. para una distribución uniforme en toda la junta.

6.5.2.3 Longitud de las Barras

La longitud recomendada por la PCA para barras lisas de 1" es de 60 cm.

En base a los resultados y recomendaciones se asume:

Varilla corrugada de 1" @ 0.35 m. con longitud de 0.6 m.

6.5.2.4 Juntas Transversales de Contracción

De la figura 31 se observa para espesores de un pavimento (17cm y 16.5cm) el valor de la separación entre varillas, de ellas se elige el diámetro de 7/8" y para una longitud de 35cm.

Figura 31 Dimensiones mínimas de los pasadores de carga

| Espesor del pavimento (mm) | diámetro del pasador * | | longitud (mm) | separación entre centros (mm) |
|----------------------------|------------------------|-------|---------------|-------------------------------|
| | mm | pg | | |
| 160-180 | 22,2 | 7/8 | 350 | 300 |
| 190-200 | 25,4 | 1 | 350 | 300 |
| 210-230 | 28,6 | 1 1/8 | 400 | 300 |
| 240-250 | 31,8 | 1 1/4 | 450 | 300 |
| 260-280 | 34,9 | 1 3/8 | 450 | 300 |
| 290-300 | 38,1 | 1 1/2 | 500 | 300 |

Fuente: Portland Cement Association

Longitud de la varilla

$L = 2.5 h$ (recomendado PCA)

$h = 0.17 \text{ m}$

$L = 0.425 \text{ m}$

Se asume: **$L = 0.45 \text{ m}$**

Por lo tanto, queda el acero liso de 7/8" @ 0.30 m con una longitud de 45 cm.

Figura 32 Resumen de diámetro, longitud y espaciado de juntas

| Tipo de junta | Ø | L (cm) | @ (cm) |
|-------------------------------------|------|--------|--------|
| Juntas de dilatación longitudinal | 1/2" | 60 | 75 |
| Juntas de dilatación transversal | 1" | 60 | 35 |
| Juntas transversales de contracción | 7/8" | 45 | 30 |

Fuente: Elaboración propia

Los planos del diseño de la estructura del pavimento se detallan en el anexo F: ES-01 – detalles estructurales del pavimento.

Capítulo VII: Estudio de Mercado de los residuos reciclados de ladrillos como material para sub base de pavimentos

7.1 Volumen disponible de residuos reciclados de las ladrilleras de San Jerónimo

7.1.1 Producción y porcentaje de residuos de ladrillos por horno

En la tabla 54 se observa que hay una producción promedio de 2941 ladrillos tipo bloquer por horno mientras que hay 7063 ladrillos de tipo king kong por horno. Así mismo se obtuvo que existe un promedio de 1.5 quemas semanales por horno. Por tanto, la producción promedio semanal es de 4412 y 10595 de ladrillos bloquer y king kong respectivamente, mientras que existe un promedio de producción de residuos de ladrillos total de 511 por horno, que en porcentaje viene hacer el 3.45% de la producción (ver Anexo A-3: Resumen de la encuesta N°01).

*Tabla 54
Producción de ladrillos y residuos de ladrillos por horno*

| Nro. | EMPRESAS LADRILLERAS | FECHA DE LA ENCUESTA | LADRILLOS (UND): RESIDUOS (UND): | | | |
|---|-------------------------|-------------------------|----------------------------------|--------------|------------|-----------|
| | | | Bloquer | King Kong | M-C* | M-SC** |
| 1 | MIRADOR | 14/07/2018 | | 7500 | 250 | 50 |
| 2 | TEJAS Y LADRILLOS 1 | 14/07/2018 | 2900 | 7000 | 100 | 40 |
| 3 | TEJAS Y LADRILLOS 2 | 14/07/2018 | 3000 | | 80 | 30 |
| 4 | TEJAS Y LADRILLOS 3 | 14/07/2018 | 2800 | | 90 | 30 |
| 5 | TEJAS Y LADRILLOS 4 | 14/07/2018 | 2900 | 7000 | 100 | 40 |
| 6 | LATESAN | 14/07/2018 | | 7000 | 80 | 30 |
| 7 | CERAMICOS J. E | 14/07/2018 | 3000 | 7000 | 90 | 40 |
| 8 | IMPERIO | 14/07/2018 | 3100 | | 80 | 30 |
| 9 | TEJAS Y LADRILLOS 5 | 14/07/2018 | 3000 | | 90 | 30 |
| 10 | TEJAS Y LADRILLOS 6 | 14/07/2018 | 2800 | | 100 | 23 |
| 11 | YURAQÑAHUI | 14/07/2018 | 3100 | 7000 | 80 | 50 |
| 12 | TEJAS Y LADRILLOS 7 | 14/07/2018 | 3000 | | 70 | 30 |
| 13 | VIRGEN DOLOROSA | 14/07/2018 | 2900 | 7000 | 110 | 50 |
| 14 | TEJAS Y LADRILLOS 8 | 14/07/2018 | 3000 | | 100 | 30 |
| 15 | TEJAS Y LADRILLOS 9 | 14/07/2018 | 2900 | | 110 | 30 |
| 16 | TEJA Y LADRILLOS 10 | 14/07/2018 | 3000 | | 90 | 20 |
| 17 | DAMIAN CONDE | 14/07/2018 | 2900 | | 100 | 30 |
| 18 | TEJAS Y LADRILLOS 11 | 14/07/2018 | 2900 | | 80 | 30 |
| 19 | JESUS EL BUEN PASTOR | 14/07/2018 | 2800 | | 90 | 25 |
| 20 | LATESA | 14/07/2018 | | 7000 | 100 | 40 |
| PROMEDIO DE PRODUCCIÓN POR HORNO | | | 2941 | 7063 | 100 | 34 |
| PROMEDIO DE PRODUCCIÓN SEMANAL | | | 4412 | 10595 | 149 | 51 |
| PRODUCCIÓN TOTAL | | | 15006 | | 200 | |

(*) M-C: ladrillo coccionado, (**) M-SC: ladrillos sobrecoccionados., anexo A-3: Resumen de datos y resultados de la encuesta N°01. Fuente: Elaboración propia

En la tabla 55 se muestra que existe una producción anual aproximada de 54000 millares ladrillos en San Jerónimo entre bloquer y king kong, de la cual se obtiene que existe un porcentaje de producción del 77.60% de ladrillos bloquer y 22.40% de ladrillos king kong. En la figura 33 se resume de manera gráfica.

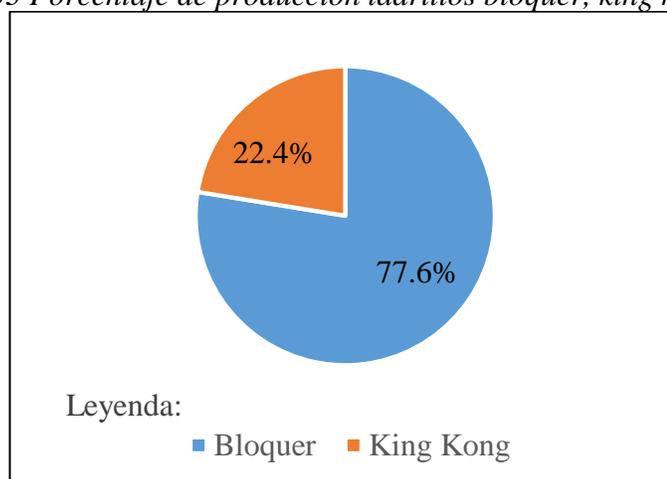
*Tabla 55
Producción de ladrillos por tipo en San Jerónimo, semanal, mensual y anual*

| Producción ladrillos | Unid. | (%) | Nro. Ladrilleras | Cantidad Semanal | Cantidad Mensual | Cantidad Anual |
|-----------------------------|--------------|------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-----------------------|
| Bloquer | 4412 | 77.60% | 150 | 663706 | 2654824 | 31857888 |
| king kong | 10595 | 22.40% | 44 | 461401 | 1845604 | 22147248 |
| Total | | | 194* | 1125107 | 4500428 | 54005136 |

(*) Recuperado de Red de Ladrilleras. Datos obtenidos a partir de las encuestas, anexo A-3.

Fuente: Elaboración propia

Figura 33 Porcentaje de producción ladrillos bloquer, king kong



Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 56 se observa que existe una producción anual aproximado de 1862 millares de residuos de ladrillos entre coccionados y sobre coccionados.

Tabla 56

Producción semanal de residuos de ladrillos en San Jerónimo, semanal mensual y anual

| | Unid. | Nro. Ladrilleras | Cantidad Semanal | Cantidad Mensual | Cantidad Anual |
|------------------------------|--------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-----------------------|
| Residuos de ladrillos | 200 | 194 | 38800 | 155200 | 1862400 |

Fuente: Elaboración propia

De esto se extrae que el porcentaje de residuos reciclados de ladrillos (coccionados y sobre coccionados) es el 3.45%.

7.1.2 Cálculo del volumen disponible de residuos reciclados de ladrillos

Para obtener el volumen disponible de los residuos de ladrillos se eligió dos tipos de ladrillos, los cuales son los de mayor producción, como es el caso del ladrillo tipo king kong con dimensiones (9x12x24 cm) y del tipo bloquer con dimensiones (12x20x30 cm).

En la tabla 57 se calcula los valores de volumen disponible por unidad de ladrillo, según tipo (bloquer o king kong).

Tabla 57
Volumen disponible por unidad de ladrillo

| Tipo de ladrillo: | Alto (m) | Largo (m) | Ancho (m) | Volumen ladrillo (m ³) | % Vacíos | Volumen disponible (m ³) |
|---------------------------|----------|-----------|-----------|------------------------------------|----------|--------------------------------------|
| Ladrillo bloquer | 0.12 | 0.3 | 0.2 | 0.0072 | 75% | 0.0018 |
| Ladrillo king kong | 0.09 | 0.24 | 0.12 | 0.002592 | 25% | 0.001944 |

Fuente: Recuperado de Latesa, elaboración propia.

En la tabla 58 se observa un volumen anual disponible de residuos reciclados de ladrillos de 3463 m³ considerando un 3.45% de residuos.

Tabla 58
Producción anual disponible de residuos reciclados de ladrillos

| | Producción anual de residuos de ladrillos | Volumen disponible(m ³) por unidad de ladrillo | Porcentaje de residuos (%) | Volumen disponible(m ³) anual |
|--------------|---|--|----------------------------|---|
| | 31857888 | 0.0018 | 3.45% | 1978.37 |
| | 22147248 | 0.001944 | 3.45% | 1485.37 |
| Total | 54005136 | | | 3463.75 |

Fuente: Elaboración propia

7.2 Costo Unitario de los residuos reciclados como material de sub base

En la tabla 59 y 60 se detalla el análisis de precios unitarios de producción de un metro cubico de material reciclado para sub base.

*Tabla 59
Análisis de precios unitarios de transporte de residuos reciclados de ladrillos a la chancadora*

| Trasporte a Planta Chancadora | | | | | |
|--------------------------------------|------------------------------|--------------------------------------|-----------------|-----------------------|----------------------|
| Rendimiento (m3/día) | 375.00 ⁽¹⁾ | Costo unitario directo por m3 | | | S/ 8.34 |
| Descripción Recurso | Und. | Cuadrilla | Cantidad | Precio (S/.) | Parcial (S/.) |
| Mano de Obra | | | | | |
| Peón | HH | 2.00 | 0.04 | 15.00 ⁽²⁾ | 0.64 |
| Equipos y Herramientas | | | | | |
| Cargador Frontal CAT-930 | HM | 1.00 | 0.02 | 220.00 ⁽³⁾ | 4.69 |
| Camión Volquete 15m3 | HM | 1.00 | 0.02 | 140.00 ⁽⁴⁾ | 2.99 |
| Herramientas Manuales | %mo | | 3.00 | 0.67 | 0.02 |

Ver anexo D: Cálculo de rendimiento para el análisis de precios unitarios de los residuos reciclados del ladrillo

(2) Obtenido de Costo hora hombre – Cusco, vigente del 01 de junio del 2018 al 31 de mayo del 2019.

(3), (4) Obtenido de cotización (Transportes Leo). Fuente: Elaboración propia.

*Tabla 60
Análisis de precios unitarios del chancado de residuos de ladrillos*

| Chancado De Residuos de Ladrillo | | | | | |
|---|------------------------------|--------------------------------------|-----------------|-----------------------|----------------------|
| Rendimiento (m3/día) | 180.00 ⁽¹⁾ | Costo unitario directo por m3 | | | S/ 16.95 |
| Descripción Recurso | UND. | Cuadrilla | Cantidad | Precio (S/.) | Parcial (S/.) |
| Mano de Obra | | | | | |
| Peón | HH | 2.00 | 0.09 | 15.00 ⁽²⁾ | 1.33 |
| Equipos y Herramientas | | | | | |
| Cargador Frontal CAT-930 | HM | 1.00 | 0.04 | 220.00 ⁽³⁾ | 9.78 |
| Chancadora Primaria Secundaria 46 - 70 ton/h | HM | 1.00 | 0.04 | 130.82 ⁽⁴⁾ | 5.81 |
| Herramientas Manuales | %MO | | 3.00 | 0.67 | 0.02 |

(1), (4) Obtenido del expediente técnico “Estudio Definitivo Del Mejoramiento y Construcción de la Carretera Ruta 10, Tramo: Huamachuco - Puente Pallar – Juanjui”

(2) Obtenido de Costo hora hombre – Cusco, vigente del 01 de junio del 2018 al 31 de mayo del 2019

(3), (4) Obtenido de cotización (Transportes Leo). Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 61 se observa que el precio de producción por m³ de residuos reciclado de ladrillos es s/. 29.84 incluye IGV.

Tabla 61
Costo unitario por m³ de residuos reciclado de ladrillo como material para sub base

| Descripción | Precio unitario/m³ |
|----------------------------------|--------------------------------------|
| Transporte a Planta Chancadora | S/8.34 |
| Chancado de Residuos de Ladrillo | S/16.95 |
| Costo directo sin IGV. | S/25.29 |
| Costo directo inc. IGV. | S/29.84 |

Fuente: Elaboración propia

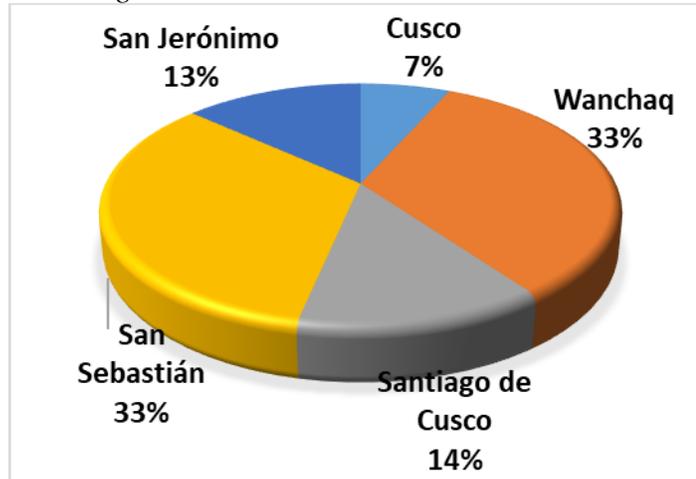
7.2.1 Estudio de la aceptabilidad de los residuos reciclados de ladrillos como material para sub base de pavimentos

Para saber la situación actual en la ciudad del Cusco se realizó una encuesta (ver anexo A-2: modelo de encuesta N° 02) la cual se realizó para ver la aceptabilidad del material estudiado (residuos de ladrillo).

El tamaño de la muestra fue de 15 profesionales dedicados al rubro de la construcción en el área de transportes en la ciudad del Cusco, la cantidad de muestra fue limitada debido que en el momento de realizar las encuestas se encontraron 15 obras de pavimentación en ejecución.

Según la figura 34 se observa que en el momento de realizar las encuestas (18/10/2018 al 20/10/2018) la mayor cantidad de proyectos de pavimentación se encontraron en el distrito de Wanchaq y San Sebastián.

Figura 34 Distribución de encuestas



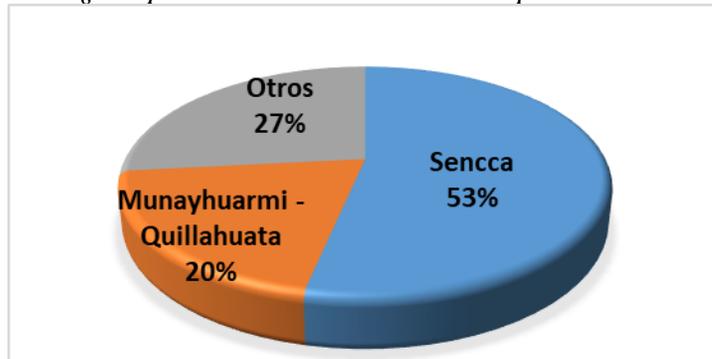
Fuente: Elaboración propia

Los resultados obtenidos de las encuestas realizadas, dan como resultado lo siguiente:

1. A la pregunta: ¿De qué cantera solicita material para sub base?

El material predominante para sub base es obtenido de la cantera de Sencca con un 53%, seguido por la cantera Munayhuarmi en combinación con Quillahuata en un 20% y en otros (Palpancay, Huaccoto y Ccollana) en un 27% (ver figura 35).

Figura 35 ¿De qué cantera solicita material para sub base?

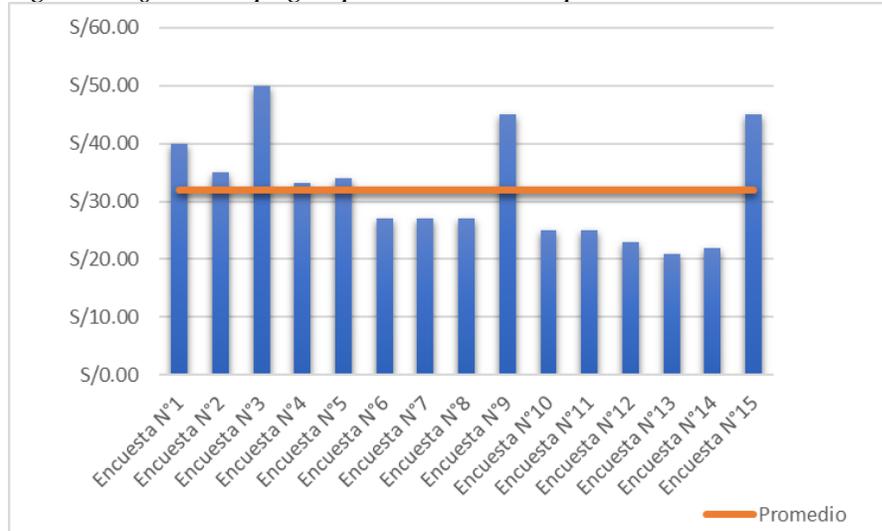


Fuente: Elaboración propia

2. A la pregunta: ¿Cuánto paga aproximadamente por m³ de material?

El costo por metro cubico de material para sub base depende principalmente de la cantera a elegir y la distancia de la cantera a la obra a ejecutarse. El costo promedio m³ de material para sub base es de s/. 31.94, ver figura 36.

Figura 36 ¿Cuánto paga aproximadamente por m³ de material?

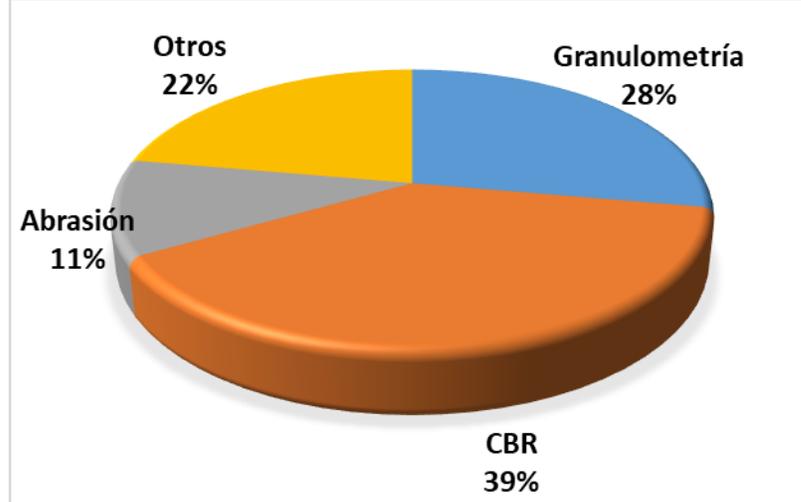


Fuente: Elaboración propia.

3. A la pregunta ¿Cuál es el factor más influyente para que elija esta cantera?

El 39% indica que el factor más influyente para elegir la cantera es el valor del CBR, un 28% indica que la granulometría del material es importante para el acomodamiento de las partículas, el 11% indica que la Abrasión y el 22% indica otro factor a considerar son: la distancia, el costo y la potencia, ver figura 37.

Figura 37 ¿Cuál es el factor más influyente para que elija esta cantera?

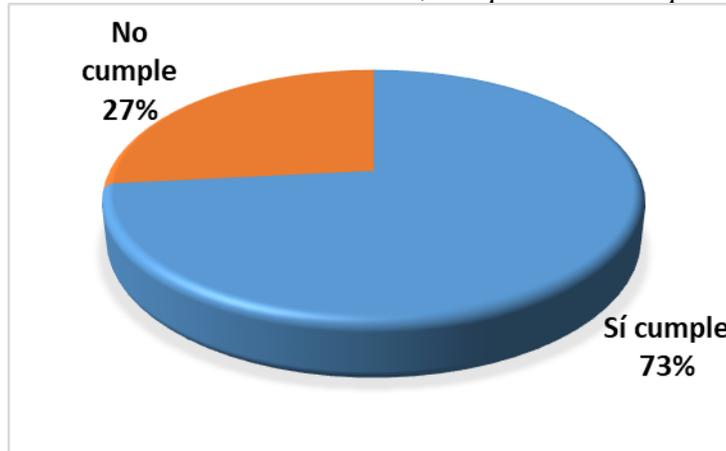


Fuente: Elaboración propia

1. A la pregunta: ¿La calidad del material de cantera, cumple con los requerimientos?

Según los resultados de las encuestas (ver anexo A-4: resumen de datos de la encuesta N° 02), el 73% de las canteras cumple con los requerimientos para sub base en cambio un 27% no cumple con los requisitos al 100% para esto necesita realizar una combinación de suelos, ver figura 38.

Figura 38 ¿La calidad del material de cantera, cumple con los requerimientos?



Fuente: Elaboración propia

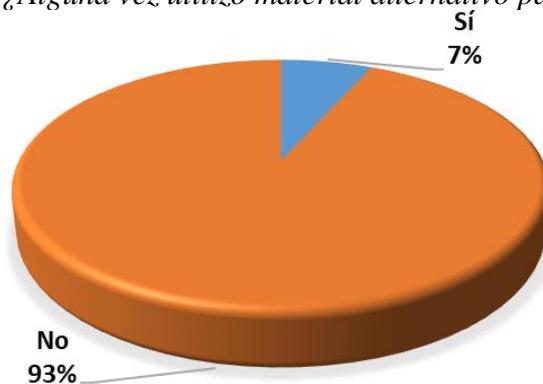
5. A la pregunta: ¿En qué temporada del año presenta problemas para la adquisición del material?

Según las encuestas, un 100% indica que la temporada en donde presenta problemas en adquirir el material es en época de lluvias.

6. A la pregunta: ¿Alguna vez utilizó material alternativo para sub base?

En la figura 39, el 93% de profesionales encuestados indicaron que no utilizaron otro material que no sea de cantera para sub base mientras que el 7% indicaron que utilizaron como material alternativo: cascote u over.

Figura 39 ¿Alguna vez utilizó material alternativo para sub base?

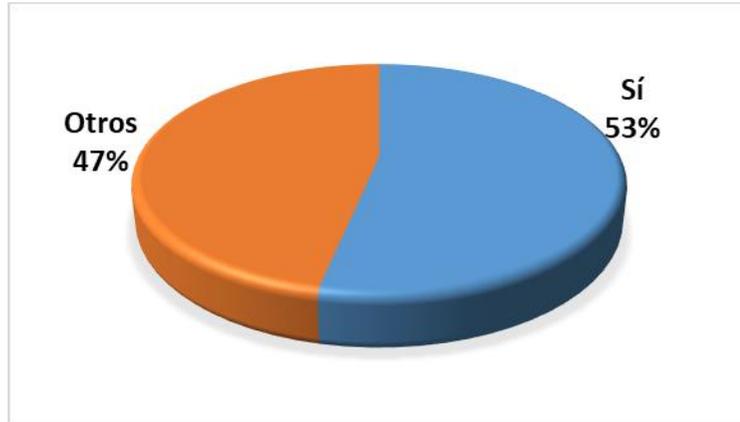


Fuente: Elaboración propia

7. A la pregunta: ¿De acuerdo a las propiedades físico-mecánicas y químicas Ud. aplicaría este material?

De a figura 40, el 53% de encuestados indica que si aplicaría este material de acuerdo a las especificaciones técnicas mostradas, mientras que el 47% indica que además de las especificaciones técnicas mostradas necesitaría una experiencia previa, la potencia del material, un tramo de prueba en el tiempo.

Figura 40 ¿De acuerdo a las propiedades físico-mecánicas y químicas Ud. aplicaría este material?

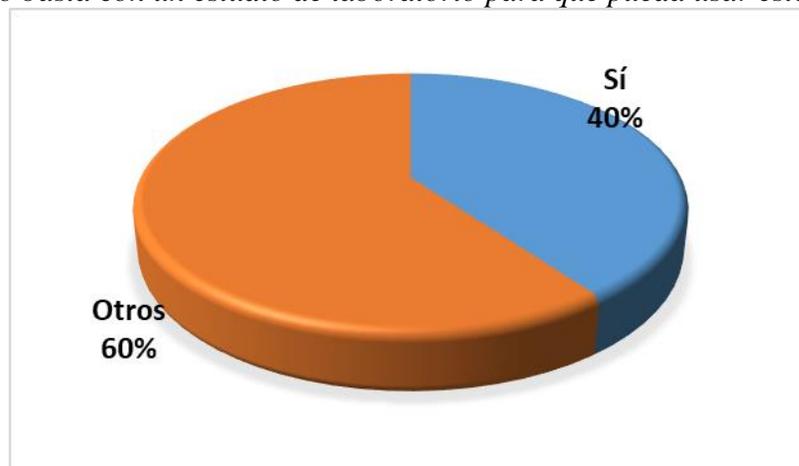


Fuente: Elaboración propia

8. A la pregunta: ¿Sólo basta con un estudio de laboratorio para que pueda usar este material?

De la figura 41, el 40% indicaron que sólo necesitarían un estudio de laboratorio para usar este material, mientras que el 60% indicaron que además de un estudio de laboratorio necesitarían certificados de calidad y una experiencia previa con este material.

Figura 41 ¿Sólo basta con un estudio de laboratorio para que pueda usar este material?



Fuente: Elaboración propia

Capítulo VIII: Discusión de Resultados

8.1 Discusión de resultados con los antecedentes

En la tabla 62 se observan el resumen de comparación de resultados de los datos obtenidos con los antecedentes relacionados a la presente tesis de investigación.

*Tabla 62
Comparación de resultados con los antecedentes*

| Propiedad fisico-mecánica | Farhad R. (2014) | Portillo, Salmeron, Villatoro (2013) | Cameron D., Rahman M. (2013) | Residuos reciclados de ladrillos coccionados | Residuos reciclados de ladrillos sobre coccionados |
|--|------------------|--------------------------------------|------------------------------|--|--|
| Abrasión (%) | 41.60% | - | 42% | 45.58% | 28.45% |
| CBR (%) | - | 56% | 80% | 53.80% | 66.94% |
| Límite líquido (%) | - | NP | 27% | NP | NP |
| Índice de plasticidad (%) | - | NP | 2% | NP | NP |
| Absorción (%) | 8.70% | 8.94% | - | 14.03% | 2.24% |
| Densidad máxima seca (gr/cm ³) | - | 1.404 | - | 1.48 | 1.64 |
| Contenido óptimo de humedad (%) | - | 14% | - | 10.43% | 5.54% |

Fuente: Elaboración propia

- ✓ Se observa que los valores para la abrasión por Farhad R. y Cameron D., Rahman M. (41.60% y 42% respectivamente) se asemejan a los valores obtenidos para la muestra coccionada (45.58%), teniendo así una diferencia no mayor a 4% entre estos valores.
- ✓ El valor de CBR obtenido por Portillo, Salmerón y Villatoro es de 56% lo cual se asemeja con el valor de CBR para la muestra coccionada de 53.8%, mientras que el valor obtenido por Cameron D. y Rahman M. (80%) se refiere a una muestra combinada de residuos de demolición de concreto con 20% de residuos de mampostería de ladrillos.
- ✓ Los ensayos de límite líquido e índice de plasticidad obtenidos por Portillo, Salmeron y Villatoro dieron como resultado que el material en no plástico (NP) al igual que la muestra coccionada.

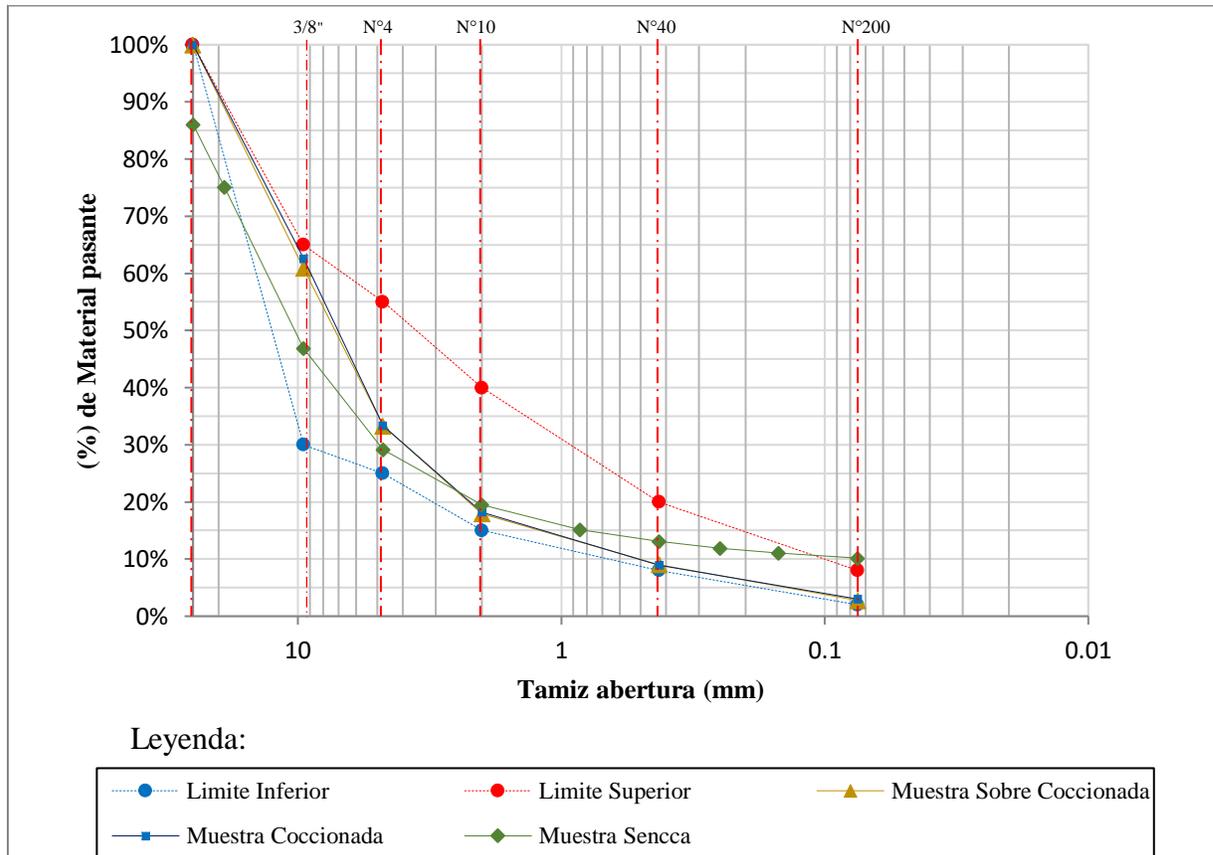
- ✓ Los valores de absorción obtenidos por Farhad R. (8.70%) y Portillo, Salmeron y Villatoro (8.94%) difieren en un máximo de 6% para muestra coccionada (14.03%).
- ✓ Los valores de densidad máxima seca obtenido por Portillo, Salmeron y Villatoro el cual es 1.404 gr/cm^3 y los valores obtenidos para muestra coccionada de 1.48 gr/cm^3 se asemejan teniendo una diferencia de 0.076 gr/cm^3 .
- ✓ Con respecto al contenido óptimo de humedad obtenido por Portillo, Salmeron y Villatoro (14%) y obtenido para la muestra coccionada (10.43%) difieren en un 3.57%.

8.2 Discusión de resultados con respecto al material para sub base de la cantera de Sencca

8.2.1 Análisis Granulométrico

En la figura 42 se observan las curvas granulométricas de las de muestras de material coccionado, sobre coccionado y las especificaciones de la norma EG-2013 (límites granulométricos) y de cantera de Sencca. El material de Sencca no está dentro de los límites granulométricos que indica dicha norma, sin embargo, estos valores no indican al 100% el desempeño del material, debido a que este material (Sencca) cumple satisfactoriamente los otros requisitos (CBR, Abrasión, Partículas chatas y alargadas, etc.).

Figura 42 Comparación de resultados: muestra coccionada, muestra sobre coccionada y material de Sencca



Nota: datos de recuperados del Mejoramiento de la Transitabilidad Vehicular y Peatonal de las Vías No Pavimentadas de la margen derecha del Rio Huatanay, entre la APV Agua Buena y la APV Monterey del Distrito de San Sebastián, Cusco-Cusco. Anexo C.

- ✓ En la figura 42 la curva granulométrica de material coccionado y sobre coccionado tiene menor cantidad de material retenido en el tamiz 3/8” a comparación del material de Sencca. De la misma forma los materiales coccionado y sobre coccionado presentan mayor cantidad de material retenido en los tamices (N° 200, N° 40 y N° 10), cabe destacar que los tres materiales están dentro de los límites granulométrico establecidos en la EG-2013.

Tabla 63

Resumen de resultados: muestra coccionada, muestra sobre coccionada, material de Sencca y la norma EG-2013

| Nombre | Material coccionado | Material sobre coccionado | Material Sencca | EG-2013 |
|--------------------------------------|---------------------|---------------------------|-----------------|----------|
| Análisis granulométrico | Cumple | Cumple | No Cumple | |
| Abrasión Los Ángeles | 45.58% | 28.45% | 27.92% | 50% máx. |
| CBR | 53.80% | 66.94% | 51.28% | 40% mín. |
| Límite líquido | NP | NP | 25% | 25% mín. |
| Índice de plasticidad | NP | NP | 9.00% | 4% máx. |
| Equivalente de arena | 85.37% | 100.00% | 35.74% | 35% máx. |
| Salas Solubles | 0.14% | 0.02% | 0.11% | 1% máx. |
| Partículas chatas y alargadas | 18.13% | 16.37% | - | 20% máx. |

Nota: datos recuperados del expediente: Mejoramiento de la Transitabilidad Vehicular y Peatonal de las Vías No Pavimentadas de la margen derecha del Rio Huatanay, entre la APV Agua Buena y la APV Monterey del Distrito de San Sebastián, Cusco-Cusco, anexo C.

De la tabla 63 se dan los siguientes comentarios:

- ✓ En los resultados de abrasión de la muestra sobre coccionada y el material de Sencca se asemejan, en cuanto al material coccionado y de Sencca existe una diferencia aproximadamente del 22%.
- ✓ Los valores de CBR de la muestra coccionada y sobre coccionada están por encima del material de Sencca.
- ✓ El material coccionado y sobre coccionado no presentan valores de Límite líquido y límite plástico, el material de Sencca sí presenta. El índice de plasticidad del material de Sencca está por encima de lo permitido en la norma EG-2013 la cual indica un valor máximo de 4%.
- ✓ El equivalente de arena del material coccionado y sobre coccionado presenta mayores valores con respecto al Material de Sencca, esto indica que el material (coccionado y sobre

coccionado) presenta una mínima cantidad de arcillas. Además, que el material de Sencca sobre pasa en 0.74% lo indicado en la EG-2013.

- ✓ Las sales solubles del material reciclado (coccionado y sobre coccionado) y de Sencca no superan el 0.2%, además se observa que el material sobre coccionado tiene mejor resistencia a estas sales (nitrato de plata y cloruro de bario) debido al bajo porcentaje que presenta.

Capítulo IX: Conclusiones y Recomendaciones

9.1 Conclusiones

- De acuerdo a los resultados obtenidos: la granulometría de ambas muestras (M-C²⁴ y M-SC²⁵), la abrasión los Ángeles de muestra M-C (45.58%) y M-SC (28.45%), el valor de CBR para M-C (53.80%) y M-SC (66.94%), el límite líquido (NP) para ambas muestras, el índice de plasticidad (NP) para muestra M-C y M-SC, el valor de equivalente de arena para M-C (85.37%) y M-SC (100%), la cantidad de sales solubles para M-C (0.14%) y M-SC (0.02%) y el porcentaje de partículas chatas y alargadas de M-C (18.13%) y M-SC (16.37%) están dentro de lo permitido por la norma EG-210.. Se concluye que el material coccionado y sobre coccionado sí pueden ser aplicados para sub base de pavimentos al cumplir con los parámetros de la EG-2013. Los valores del módulo de reacción para M-C (388.43 pci) y M-SC (421.34 pci) están en el rango de un suelo granular (300 a 450 pci), esto de acuerdo al *rango de valores de K recomendados según el tipo de suelo por la ASSHTO*.
- De acuerdo a los resultados obtenidos: las curvas granulométricas para la M-C y M-SC se asemejan entre sí debido a que fueron triturados en una misma chancadora y con el mismo procedimiento, los valores de abrasión para M-C y M-SC difieren en aproximadamente 20% deduciendo que el ladrillo sobre coccionado tiene mayor resistencia al desgaste debido al grado de calcinación que está expuesto (>1000°C), el valor de CBR para M-SC en comparación con la M-C indica que tiene una mayor capacidad de soporte y menor deformación, ambas muestras no presentaron límite ni

²⁴ M-C: Muestra coccionada.

²⁵ M-SC: Muestra sobre coccionada.

plástico por lo que se infiere que la arcilla al ser calcinada adquiere propiedades diferentes semejantes al de una arena. El valor de equivalente de arena para M-SC es superior que para la M-C, en ambos casos los materiales no presentan arcillas (por no tener plasticidad) más es así limos (por el tamaño de la partícula). La diferencia de porcentaje de partículas chatas y alargadas entre la M-C y M-SC es del menos de 2% debido a que ambas muestras fueron trituradas con una misma chancadora y con el mismo procedimiento.

- El valor de sales solubles para M-SC (0.02%) es superior a M-C (0.14 %) de esto se infiere que los ladrillos sometidos a temperaturas mayores a los 1100 °C tienen mayor resistencia a los cloruros y sulfatos, debido a las propiedades que adquiere esta mezcla (arena-arcilla) cuando supera esta temperatura.
- Según la granulometría y los valores de CBR para M-C (53.80%) y M-SC (66.94%) indican que son suelos granulares con buena capacidad de soporte teniendo mejor desempeño la M-SC. Así también los valores de módulo de reacción para la M-C (388.43 pci) y M-SC (421.34 pci) reafirman la buena capacidad portante de ambas muestras.
- Según los diseños de pavimento realizados para ambas muestras, se obtuvo espesores de carpeta de rodadura rígida de 17cm para M-C y 16.5cm para M-SC para las mismas condiciones de sollicitaciones con lo cual se concluye que la M-SC tiene un mejor desempeño que la muestra M-C.
- Según los resultados del ensayo de proctor modificado a condiciones críticas para la M-C se observó que tiene un comportamiento diferente que, a condiciones normales, debido a que la curva de compactación fue característica de un suelo no definido (suelo raro) según Braja M. D. (1985).

- En las obras de la ciudad del Cusco los agregados usados para sub base granular no cumplen con todos los requerimientos que exige la EG-2013 dando mayor importancia a los valores de CBR, abrasión y granulometría.

9.2 Recomendaciones

- Realizar un estudio sobre la durabilidad del material para sub base para saber su comportamiento en el tiempo.
- Realizar un estudio más amplio de este material para definir de mejor manera sus características y su comportamiento, debido a que es un material de origen artificial.
- Realizar un estudio de evaluación más amplio donde abarque todas las ladrilleras de la ciudad del Cusco para así disponer de un mayor volumen aprovechando sus características físico-mecánicas y químicas.
- La reutilización de estos residuos como material de sub base para pavimentos, debido a que cumplen con las exigencias del MTC EG-2013, además que con su reutilización se reducirá en alguna medida la contaminación ambiental.
- Realizar un proyecto de pavimentación en el sector Sucso Aucaylle-San Jerónimo, utilizando este material.
- Realizar un estudio de evaluación de los residuos reciclados de mampostería de arcilla reciclada como material para sub base de pavimentos y otros usos afines.
- Realizar un estudio para mejorar los hornos ladrilleros y poder mitigar el impacto ambiental.

- Realizar inspecciones a todas las vías a pavimentar debido a que en su gran mayoría los agregados utilizados no cumplen con las exigencias de la EG-2013.
- Realizar un estudio de investigación sobre la influencia de la granulometría en el valor de CBR.

Referencia bibliográfica

Amaya Portillo, J. M., Salmeron Sosa, J. N., & Villator chavez, R. C. (2013). *Estudio Técnico Exporatorio para la Utilizacion de Residuos Recicldos de Concreto, Mamposteria de Bloque de Concreto y Ladrillo de Barro en Mezclas de Suelo-Cemento*. El Salvador.

Braja, D. M. (1985). *Fundamentos de Ingeniería Geotecnica*.

Cameron., D., Rahman, H., & Azam, A. (2013). *The Use of Recycled Aggregates in Unbound Road Pavements*. Adelaide, Australia.

Eddy.H. (28 de Septiembre de 2013). *uningenierocivil*. Recuperado de <http://uningenierocivil.blogspot.com>

Eritja, M. C. (1994). *La Gestión de los los residuos peligrosos de la en la Comunidad Europea*.

Farhad, R. (2014). Evaluation of Recycled Brick as an Aggregate Material for Shoulder Base Courses. *Minnesota Department of transportation Research Servive and Libraly*.

Latesa. (9 de Septiembre de 2018). Recuperado de <http://www.latesa.com.pe>

Lescano, J. B. (septiembre de 2018). *pirhua*. Recuperado de <https://pirhua.udep.edu.pe>

Millio, G. P. (28 de Septiembre de 2018). *edoc.site*. Recuperado de <https://edoc.site>

Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2013). *Manual de Especificaciones Técnicas Generales para Contrucción EG-2013*. Perú.

Ministerio de Trasportes y Comunicaciones. (2016). *Manual de Ensayo de ensayos de Materiales*. Perú.

Piñeiro, M. C. (2010). *Elaboració de Límites Máximos Permisibles de Emisiones Para La Industria Ladrilera*. Lima, Perú.

Programa Regional de AireLimpio. (2015). *Estudio sobre las ladrilleras artesanales en el Peru.*

Real, R. I. (28 de Septiembre de 2018). *Ingenieria Real*. Recuperado de <https://ingenieriareal.com>

Regal, A. (s.f.). *La Ingenieria Del Suelo*. Lima, Peru.

Residuos, p. (24 de septiembre de 2018). Recuperado de <https://www.residuosprofesional.com>

Rhodes, D. (1990). *Arcilla y vidrioado para el ceramista*. España.

Secretaria de ComunicacionesTransportes. (26 de Septiembre de 2018). *Materiales para Bases y Sub Bases*. Recuperado de <https://normas.imt.mx>

Universidad Politecnica de Cataluña. (27 de Septiembre de 2018). *upcommons*. Recuperado de <https://upcommons.upc.edu>

Anexos

Anexo A: Encuestas

Anexo A-1: Modelo de encuesta N° 01

DATOS

Empresa:

1.- ¿Cuántas veces a la **semana** realiza el proceso de cocción del ladrillo?

- | * king kong | * Bloquer |
|---------------------------------------|---------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> 1 | <input type="checkbox"/> 1 |
| <input type="checkbox"/> 2 | <input type="checkbox"/> 2 |
| <input type="checkbox"/> 3 | <input type="checkbox"/> 3 |
| <input type="checkbox"/> Otros: | <input type="checkbox"/> Otros: |

2.- ¿Cuántos ladrillos produce por quema?

- king kong**
- Producidos
- Fracturados (C)
- Sobre coccionados (SC)
- Bloquer**
- Producidos
- Fracturados (C)
- Sobre coccionados (SC)

3.- ¿De dónde obtiene el material para elaborar los ladrillos?

- | | |
|------------------------------------|------------------------------------|
| Arcilla | Arena |
| <input type="checkbox"/> Zona | <input type="checkbox"/> Zona |
| <input type="checkbox"/> Proveedor | <input type="checkbox"/> Proveedor |

4.- ¿Cuál es la dosificación (%) de arcilla y arena?

- Arcilla
- Arena

5.- ¿Cuánto es el tiempo de cocción de los ladrillos?

.....

6.- ¿Cuál es el destino de los residuos reciclados de los ladrillos?

- Botadero
- Reutilización

7.- ¿Con cuántos hornos cuenta?

.....

8.- ¿Qué tipo de combustible utiliza para la cocción de ladrillos?

- Leña
- Carbón mineral
- Otros

Fuente: Elaboración propia

Anexo A-3: Resumen de datos y resultados de la encuesta N° 01

| GRUPOS | LADRILLERA SELECCIONADA | Nro. | EMPRESA LADRILLERA | FECHA DE ENCUESTA | LADRILLOS: | | RESIDUOS: | | DOSIFICACIÓN | | TIEMPO DE COCCIÓN | TIPO DE FABRICACIÓN | PROCEDENCIA DE MATERIALES | | VÍA DE ELIMINACIÓN DE RESIDUOS | COMBUSTIBLE | PERIODO DE QUEMA (N° veces por semana) | |
|---------|-------------------------|------|----------------------|-------------------|--------------------|----------------------|---------------|----------------|--------------|---------|-------------------|---------------------|---------------------------|---------|--------------------------------|-----------------|--|---|
| | | | | | Bloquer (unidades) | King Kong (unidades) | CC (unidades) | SCC (unidades) | Arena | Arcilla | | | Arena | Arcilla | | | | |
| GRUPO 1 | ▲ | 1 | MIRADOR | 14/07/2018 | | | 7500 | 250 | 50 | 50% | 50% | Mecanizada | Zona | Zona | Volquete | Palos y aserrín | 2 | |
| | | 2 | TEJAS Y LADRILLOS 1 | 14/07/2018 | 2900 | | 7000 | 100 | 40 | 50% | 50% | Mecanizada | Zona | Zona | Volquete | Palos y aserrín | 3 | |
| | | 3 | TEJAS Y LADRILLOS 2 | 14/07/2018 | 3000 | | | 80 | 30 | 50% | 50% | Mecanizada | Zona | Zona | Volquete | Palos y aserrín | 1 | |
| | | 4 | TEJAS Y LADRILLOS 3 | 14/07/2018 | 2800 | | | 90 | 30 | 50% | 50% | Mecanizada | Zona | Zona | Volquete | Palos y aserrín | 3 | |
| | | 5 | TEJAS Y LADRILLOS 4 | 14/07/2018 | 2900 | | | 7000 | 100 | 40 | 50% | 50% | Mecanizada | Zona | Zona | Reutilizar | Palos y aserrín | 2 |
| GRUPO 2 | ▲ | 6 | LATESAN | 14/07/2018 | | | 7000 | 80 | 30 | 65% | 35% | Mecanizada | Zona | Zona | Volquete | Palos y aserrín | 2 | |
| | | 7 | CERAMICOS J.E | 14/07/2018 | 3000 | | 7000 | 90 | 40 | 65% | 35% | Mecanizada | Zona | Zona | Volquete | Palos y aserrín | 3 | |
| | | 8 | IMPERIO | 14/07/2018 | 3100 | | | | 80 | 30 | 65% | 35% | Mecanizada | Zona | Zona | Volquete | Palos y aserrín | 6 |
| | | 9 | TEJAS Y LADRILLOS 5 | 14/07/2018 | 3000 | | | | 90 | 30 | 65% | 35% | Mecanizada | Zona | Zona | Volquete | Palos y aserrín | 2 |
| GRUPO 3 | ▲ | 10 | TEJAS Y LADRILLOS 6 | 14/07/2018 | 2800 | | | 100 | 23 | 65% | 35% | Mecanizada | Zona | Zona | Volquete | Palos y aserrín | 1 | |
| | | 11 | YURAQÑAHUI | 14/07/2018 | 3100 | | 7000 | 80 | 50 | 60% | 40% | Mecanizada | Zona | Zona | Volquete | Palos y aserrín | 4 | |
| | | 12 | TEJAS Y LADRILLOS 7 | 14/07/2018 | 3000 | | | 70 | 30 | 60% | 40% | Mecanizada | Zona | Zona | Volquete | Palos y aserrín | 2 | |
| | | 13 | VIRGEN DOLOROSA | 14/07/2018 | 2900 | | | 7000 | 110 | 50 | 60% | 40% | Mecanizada | Zona | Zona | Volquete | Palos y aserrín | 3 |
| | | 14 | TEJAS Y LADRILLOS 8 | 14/07/2018 | 3000 | | | | 100 | 30 | 60% | 40% | Mecanizada | Zona | Zona | Volquete | Palos y aserrín | 2 |
| GRUPO 4 | ▲ | 15 | TEJAS Y LADRILLOS 9 | 14/07/2018 | 2900 | | | 110 | 30 | 60% | 40% | Mecanizada | Zona | Zona | Reutilizar | Palos y aserrín | 3 | |
| | | 16 | TEJA Y LADRILLOS 10 | 14/07/2018 | 3000 | | | 90 | 20 | 55% | 45% | Mecanizada | Zona | Zona | Volquete | Palos y aserrín | 2 | |
| | | 17 | DAMIAN CONDE | 14/07/2018 | 2900 | | | | 100 | 30 | 55% | 45% | Mecanizada | Zona | Zona | Volquete | Palos y aserrín | 3 |
| | | 18 | TEJAS Y LADRILLOS 11 | 14/07/2018 | 2900 | | | | 80 | 30 | 55% | 45% | Mecanizada | Zona | Zona | Volquete | Palos y aserrín | 2 |
| | | 19 | JESUS EL BUEN PASTOR | 14/07/2018 | 2800 | | | | 90 | 25 | 55% | 45% | Mecanizada | Zona | Zona | Reutilizar | Palos y aserrín | 2 |
| | | 20 | LATESA | 14/07/2018 | | | | 7000 | 100 | 40 | 55% | 45% | Mecanizada | Zona | Zona | Volquete | Palos y aserrín | 1 |

Fuente: Elaboración propia

Anexo A-4: Resumen de datos y resultados de la encuesta N° 02

| Encuesta | Ubicación | Pregunta N° 1 | Pregunta N° 2 | Pregunta N° 3 | Pregunta N° 4 | Pregunta N° 5 | Pregunta N° 6 | Pregunta N° 7 | Pregunta N° 8 |
|----------|---------------|----------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------------|--------------------|
| 1 | Wanchaq | Sencca | 40 | Gr | Cumple | Invierno | No | Sí | Sí |
| 2 | Wanchaq | Sencca | 35 | Ab | Cumple | Invierno | No | Sí | Sí |
| 3 | Cusco | Sencca | 50 | Gr | Cumple | Invierno | Sí, cascade | Sí | Sí |
| 4 | Santiago | Sencca | 33.1 | Gr+Di | Cumple | Invierno | No | Sí, tramo de prueba | Experiencia previa |
| 5 | Santiago | Sencca | 34 | Gr | Cumple | Invierno | No | Sí | Sí |
| 6 | Wanchaq | Sencca | 27 | CBR | Cumple | Invierno | No | Sí, tramo de prueba | Experiencia previa |
| 7 | Wanchaq | Sencca | 27 | CBR | Cumple | Invierno | No | Sí, tramo de prueba | Experiencia previa |
| 8 | Wanchaq | Sencca | 27 | Gr+CBR | Cumple | Invierno | No | Sí, tramo de prueba | Experiencia previa |
| 9 | San Sebastián | Munayhuar mi + Quillahuata | 45 | Di | No cumple | Invierno | No | Sí, tramo de prueba | Experiencia previa |
| 10 | San Sebastián | Munayhuar mi + Quillahuata | 25 | CBR+Ab | No cumple | Invierno | No | Sí, tramo de prueba | Experiencia previa |
| 11 | San Sebastián | Munayhuar mi + Quillahuata | 25 | Di | No cumple | Invierno | No | Sí | Sí |
| 12 | San Sebastián | Palpuncay | 23 | CBR | Cumple | Invierno | No | Sí | Experiencia previa |
| 13 | San Jerónimo | Larapa | 21 | CBR | Cumple | Invierno | No | Sí | Sí |
| 14 | San Sebastián | Quillahuata + Palpuncay | 22 | CBR | Cumple | Invierno | No | Sí | Experiencia previa |
| 15 | San Jerónimo | Larapa | 45 | Di | No cumple | Invierno | No | Sí, tramo de prueba | Experiencia previa |

Gr: granulometría, Ab: Abrasión, Di: distancia. Fuente: Elaboración propia

Anexo B: Ensayo de laboratorio

Anexo B-1: Clasificación de suelos

Anexo B-1.1: Clasificación de suelos “Muestra coccionada” (1)

CLASIFICACION DE SUELOS

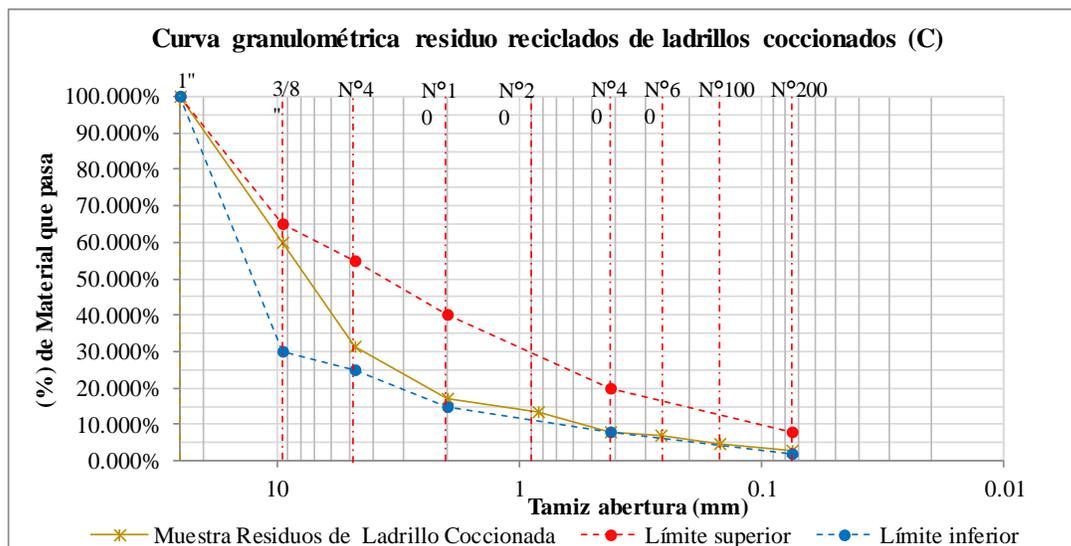
Peso Bandeja (gr) = 551.6
 Peso Bandeja + Muestra sin lavar (gr) = 1582.03
 Peso Bandeja + Muestra Ldo Seco (gr) = 1564.96
 Peso Muestra (gr) = 1013.36

| TAMIZ | ABERTURA (mm) | PESO RETENIDO + BANDEJA (gr) | PESO RETENIDO (gr) | CORRECCION lavado y tamizado (gr) | PESO CORREGIDO (gr) | PESO ACUMULADO (gr) | PORCENTAJE ACUMULADO (g%) | PORCENTAJE PASANTE (g%) |
|--------------|---------------|------------------------------|--------------------|-----------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------------|-------------------------|
| 2" | 50 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.000% | 100.000% |
| 1" | 25 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.000% | 100.000% |
| 3/8" | 9.5 | 965.14 | 413.54 | 0.00 | 413.54 | 413.54 | 40.133% | 59.867% |
| Nº 4 | 4.75 | 844.34 | 292.74 | 0.00 | 292.74 | 706.28 | 68.542% | 31.458% |
| Nº 10 | 2 | 698.29 | 146.69 | 0.00 | 146.69 | 852.97 | 82.778% | 17.222% |
| Nº 20 | 0.840 | 589.11 | 37.51 | 0.00 | 37.51 | 890.48 | 86.418% | 13.582% |
| Nº 40 | 0.425 | 608.17 | 56.57 | 0.00 | 56.57 | 947.05 | 91.908% | 8.092% |
| Nº 60 | 0.260 | 560.80 | 9.20 | 0.00 | 9.20 | 956.25 | 92.801% | 7.199% |
| Nº 100 | 0.149 | 579.41 | 27.81 | 0.00 | 27.81 | 984.06 | 95.500% | 4.500% |
| Nº 200 | 0.075 | 569.26 | 17.66 | 0.00 | 17.66 | 1001.72 | 97.214% | 2.786% |
| Cazuela | - | 561.67 | 10.07 | 18.64 | 28.71 | 1030.43 | 100.000% | 0.000% |
| Lavado | | | 17.07 | | | | | |
| Total | | 5976.19 | 1011.79 | | 1030.43 | | | |

Error por Tamizado (gr) = 1.57

Error por Tamizado(%) = 0.15%

| | | | | | |
|----------|---------------|---------|---------------|---------|--------------|
| Gravas = | 68.54% | Arena = | 28.67% | Finos = | 2.79% |
|----------|---------------|---------|---------------|---------|--------------|



Fuente: Elaboración propia

Anexo B-1.2: Clasificación de suelos "Muestra coccionada" (2)

| | | | | | | |
|--|---|---------------|---|-----|---------------------------|-------|
| Tesis: | "Evaluación de los residuos reciclados de las ladrilleras de San Jerónimo para la aplicación en sub base de pavimentos, en la ciudad del Cusco-2018" | | | | | |
| Tesistas : | Bach. Acuña Obregon Julie Teresa, Bach. Rumaja Santos Marc | | | | | |
| Material : | Residuos de ladrillo coccionado | | | | | |
| Laboratorio : | Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales, Escuela Profesional de Ingeniería Civil | | | | | |
| CLASIFICACIÓN DE SUELOS S.U.C.S | | | | | | |
| % Que Pasa la Malla N° 200 | = | 2.79% | | | | |
| % Que Pasa la Malla N° 4 | = | 31.46% | | | | |
| Límite Líquido | LL = | NP | D60 = | 9.5 | Cu = | 15.83 |
| Límite Plástico | LP = | NP | D30 = | 3.6 | Cc = | 2.27 |
| Índice de Plasticidad | IP = | 0.00 | D10 = | 0.6 | Suelo Mal Graduado | |
| Tipo de Suelo Según su Granulometría : | Suelo Grueso | | | | | |
| | Grava | | | | | |
| Tipo de Simbología : | Simbología Normal | | | | | |
| Tipo de Suelo : | | GP | Inorgánico | | | |
| Suelo : | | GP | Grava mal gradada, mezcla de grava y arena con pocos finos o sin ellos | | | |
| Características del Suelo : | | GP | | | | |

| | | |
|--|---|---------------|
| CLASIFICACIÓN DE SUELOS A.A.S.H.T.O | | |
| Parámetros Usados | | |
| % Que Pasa la Malla N° 200 | = | 2.79% |
| % Que Pasa la Malla N° 40 | = | 8.09% |
| % Que Pasa la Malla N° 10 | = | 17.22% |
| Límite Líquido: | LL = | NP |
| Límite Plástico: | LP = | NP |
| Índice de Plasticidad: | IP = | 0 |
| Tipo de Suelo : | Material Granular | |
| Clasificación de Suelos | A - 1 | |
| Suelo : | A - 1 - a A - 1 - b | |
| Tipo de Material : | Fragmentos de Piedra Grava y Arena | |
| Terreno de Fundación : | Bueno | |

Fuente: Elaboración propia.

Anexo B-1.3: Clasificación de suelos “Muestra sobre coccionada” (1)

CLASIFICACION DE SUELOS

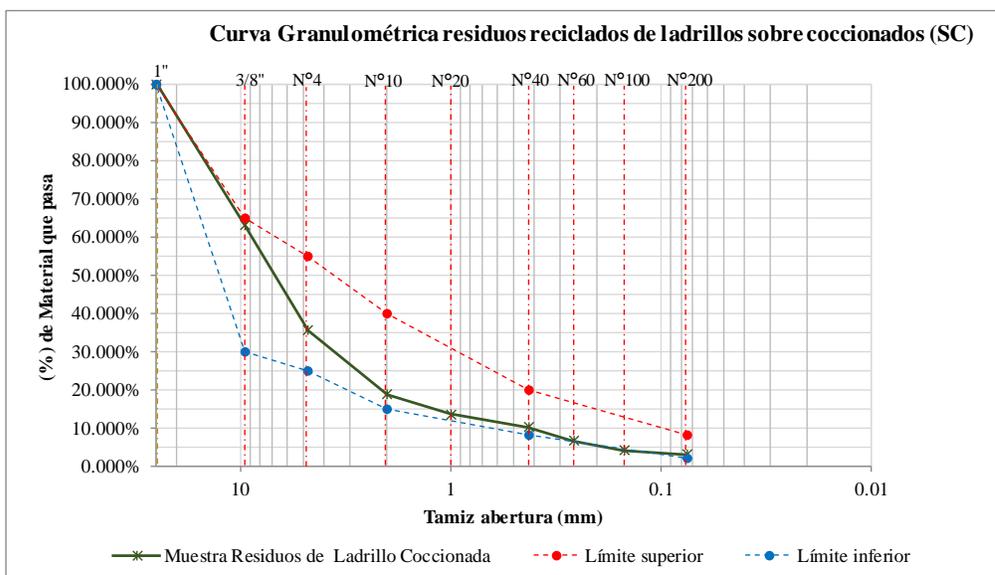
Peso Bandeja (gr) = 551.6
 Peso Bandeja + Muestra sin lavar (gr) = 1766.98
 Peso Bandeja + Muestra Lavado Seco (gr) = 1750.57
 Peso Muestra (gr) = 1198.97

| TAMIZ | ABERTURA (mm) | PESO RETENIDO + BANDEJA (gr) | PESO RETENIDO (gr) | CORRECCION lavado y tamizado (gr) | PESO CORREGIDO (gr) | PESO ACUMULADO (gr) | PORCENTAJE ACUMULADO (g%) | PORCENTAJE PASANTE (g%) |
|--------------|---------------|------------------------------|--------------------|-----------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------------|-------------------------|
| 2" | 50 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.000% | 100.000% |
| 1" | 25 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.000% | 100.000% |
| 3/8" | 9.5 | 999.04 | 447.44 | 0.00 | 447.44 | 447.44 | 36.815% | 63.185% |
| Nº 4 | 4.75 | 887.19 | 335.59 | 0.00 | 335.59 | 783.03 | 64.427% | 35.573% |
| Nº 10 | 2 | 756.16 | 204.56 | 0.00 | 204.56 | 987.59 | 81.258% | 18.742% |
| Nº 20 | 1 | 614.33 | 62.73 | 0.00 | 62.73 | 1050.32 | 86.419% | 13.581% |
| Nº 40 | 0.425 | 593.29 | 41.69 | 0.00 | 41.69 | 1092.01 | 89.849% | 10.151% |
| Nº 60 | 0.260 | 594.41 | 42.81 | 0.00 | 42.81 | 1134.82 | 93.372% | 6.628% |
| Nº 100 | 0.149 | 581.81 | 30.21 | 0.00 | 30.21 | 1165.03 | 95.857% | 4.143% |
| Nº 200 | 0.075 | 565.33 | 13.73 | 0.00 | 13.73 | 1178.76 | 96.987% | 3.013% |
| Cazuela | - | 570.44 | 18.84 | 17.78 | 36.62 | 1215.38 | 100.000% | 0.000% |
| Lavado | | | 16.41 | | | | | |
| Total | | 6162.00 | 1197.60 | | 1215.38 | | | |

Error por Tamizado (gr) = 1.37

Error por Tamizado(%) = 0.11%

| | | | | | |
|----------|--------|--------|--------|--------|-------|
| Gravas = | 64.43% | Arena= | 32.56% | Finos= | 3.01% |
|----------|--------|--------|--------|--------|-------|



Fuente: Elaboración propia

Anexo B-1.4: Clasificación de suelos “Muestra sobre coccionada” (2)

| | | | | | | |
|--|---|---------------|---|-------|---------------------------|-------|
| Tesis: | "Evaluacion de los residuos reciclados de las ladrilleras de San Jeronimo para la aplicación en sub base de pavimentos, en la ciudad del Cusco-2018" | | | | | |
| Tesistas : | Bach. Acuña Obregon Julie Teresa, Bach Rumaja Santos Marc | | | | | |
| Material : | Residuos de ladrillo sobre coccionado | | | | | |
| Laboratorio : | Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales, Escuela Profesional de Ingeniería Civil | | | | | |
| | | | | | | |
| % Que Pasa la Malla N° 200 | = | 3.01% | | | | |
| % Que Pasa la Malla N° 4 | = | 35.57% | | | | |
| Límite Líquido | LL = | NP | D60 = | 9.5 | Cu = | 22.35 |
| Límite Plástico | LP = | NP | D30 = | 3.6 | Cc = | 3.21 |
| Indice de Plasticidad | IP = | 0.00 | D10 = | 0.425 | Suelo Mal Graduado | |
| Tipo de Suelo Según su Granulometría : | Suelo Grueso | | | | | |
| | Grava | | | | | |
| Tipo de Simbología : | Simbología Normal | | | | | |
| Tipo de Suelo : | GP | | Inorgánico | | | |
| Suelo : | GP | | Grava Mal gradada, mezcla de grava y arena con pocos finos o sin ellos | | | |
| Características del Suelo : | GP | | | | | |

| CLASIFICACIÓN DE SUELOS A.A.S.H.T.O. | | |
|---|---|---------------|
| Parámetros Usados | | |
| % Que Pasa la Malla N° 200 | = | 3.01% |
| % Que Pasa la Malla N° 40 | = | 10.15% |
| % Que Pasa la Malla N° 10 | = | 18.74% |
| Límite Líquido: | LL = | NP |
| Límite Plástico: | LP = | NP |
| Indice de Plasticidad: | IP = | 0 |
| Tipo de Suelo : | Material Granular | |
| Clasificación de Suelos | A - 1 | |
| Suelo : | A - 1 - a A - 1 - b | |
| Tipo de Material : | Fragmentos de Piedra Grava y Arena | |
| Terreno de Fundación : | Bueno | |

Fuente: Elaboración propia

Anexo B-2: Análisis granulométrico

Anexo B-2.1: Análisis granulométrico “Muestra coccionada”

Anexo B-2.1.1.: Análisis granulométrico M1

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

Basado en la Norma ASTM D 1241

| | |
|------------|---|
| Tesis: | "Evaluación de los residuos reciclados de las ladrilleras de San Jerónimo, para la aplicación en sub base de pavimentos, en la ciudad del Cusco - 2018" |
| Tesistas: | Bach. Acuña Obregon Julie Teresa, Bach. Rumaja Santos Marc. |
| Ubicación: | Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil |
| Fecha: | 15/08/2018 |
| Muestra: | Ladrillo Coccionado "M1" |

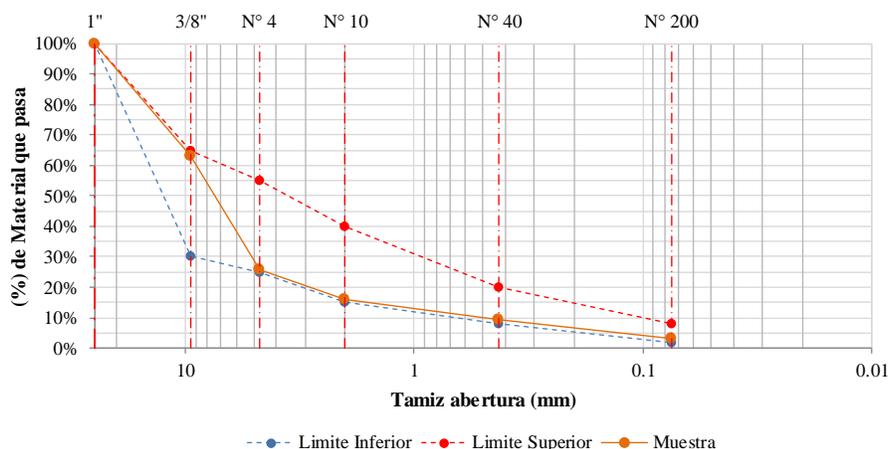
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA

| | |
|---|---------|
| Peso Bandeja (gr) = | 551.6 |
| Peso Bandeja + Muestra Sin Lavar (gr) = | 2719.89 |
| Peso Bandeja + Muestra Lavado Seco (gr) = | 2685.54 |
| Peso Muestra (gr) = | 2133.94 |

| TAMIZ | ABERTURA (mm) | PESO RETENIDO + BANDEJA (gr) | PESO RETENIDO (gr) | CORRECCION LAVADO Y TAMIZADO (gr) | PESO CORREGIDO (gr) | PESO ACUMULADO (gr) | PORCENTAJE ACUMULADO (%) | PORCENTAJE PASANTE (%) |
|---------|---------------|------------------------------|--------------------|-----------------------------------|---------------------|---------------------|--------------------------|------------------------|
| 2" | 50 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00% | 100.00% |
| 1" | 25 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00% | 100.00% |
| 3/8" | 9.5 | 1338.74 | 787.14 | 0.00 | 787.14 | 787.14 | 36.89% | 63.11% |
| N° 4 | 4.75 | 1350.24 | 798.64 | 0.00 | 798.64 | 1585.78 | 74.31% | 25.69% |
| N° 10 | 2 | 753.34 | 201.74 | 0.00 | 201.74 | 1787.52 | 83.77% | 16.23% |
| N° 40 | 0.425 | 699.44 | 147.84 | 0.00 | 147.84 | 1935.36 | 90.69% | 9.31% |
| N° 200 | 0.075 | 682.61 | 131.01 | 0.00 | 131.01 | 2066.37 | 96.83% | 3.17% |
| Cazuela | - | 581.16 | 29.56 | 38.01 | 67.57 | 2133.94 | 100.00% | 0.00% |
| Lavado | | | 34.35 | | | | | |
| Total | | 5405.53 | 2130.28 | | 2133.94 | | | |

| | |
|---------------------------|-------|
| Error por tamizado (gr) = | 3.66 |
| Error por tamizado (%) = | 0.17% |

Curva Granulométrica M1



Fuente: Elaboración propia

Anexo B-2.1.2: Análisis granulométrico M2

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

Basado en la Norma ASTM D 1241

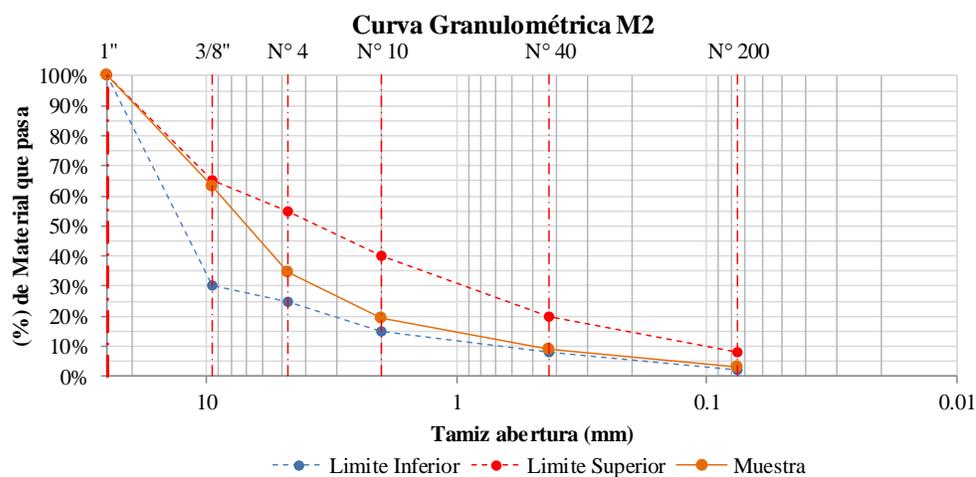
| | |
|------------|---|
| Tesis: | "Evaluación de los residuos reciclados de las ladrilleras de San Jerónimo, para la aplicación en sub base de pavimentos, en la ciudad del Cusco - 2018" |
| Tesistas: | Bach. Acuña Obregon Julie Teresa, Bach. Rumaja Santos Marc. |
| Ubicación: | Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil |
| Fecha: | 15/08/2018 |
| Muestra: | Ladrillo Coccionado "M2" |

DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA

Peso Bandeja (gr) = 551.6
 Peso Bandeja + Muestra Sin Lavar (gr) = 2909.67
 Peso Bandeja + Muestra Lavado Seco (gr) = 2869.14
 Peso Muestra (gr) = 2317.54

| TAMIZ | ABERTURA (mm) | PESO RETENIDO + BANDEJA (gr) | PESO RETENIDO (gr) | CORRECCION LAVADO Y TAMIZADO (gr) | PESO CORREGIDO (gr) | PESO ACUMULADO (gr) | PORCENTAJE ACUMULADO (%) | PORCENTAJE PASANTE (%) |
|---------|---------------|------------------------------|--------------------|-----------------------------------|---------------------|---------------------|--------------------------|------------------------|
| 2" | 50 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00% | 100.00% |
| 1" | 25 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00% | 100.00% |
| 3/8" | 9.5 | 1421.59 | 869.99 | 0.00 | 869.99 | 869.99 | 36.89% | 63.11% |
| N° 4 | 4.75 | 1227.77 | 676.17 | 0.00 | 676.17 | 1546.16 | 65.57% | 34.43% |
| N° 10 | 2 | 903.10 | 351.50 | 0.00 | 351.50 | 1897.66 | 80.48% | 19.52% |
| N° 40 | 0.425 | 795.13 | 243.53 | 0.00 | 243.53 | 2141.19 | 90.80% | 9.20% |
| N° 200 | 0.075 | 696.21 | 144.61 | 0.00 | 144.61 | 2285.80 | 96.94% | 3.06% |
| Cazuela | - | 579.77 | 28.17 | 44.10 | 72.27 | 2358.07 | 100.00% | 0.00% |
| | | | 40.53 | | | | | |
| Total | | 5623.57 | 2313.97 | 44.10 | 2358.07 | | | |

Error por tamizado (gr) = 3.57
 Error por tamizado (%) = 0.15%



Fuente: Elaboración propia

Anexo B-2.1.3.: Análisis granulométrico M3

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

Basado en la Norma ASTM D 1241

| | |
|------------|---|
| Tesis: | "Evaluación de los residuos reciclados de las ladrilleras de San Jerónimo, para la aplicación en sub base de pavimentos, en la ciudad del Cusco - 2018" |
| Tesistas: | Bach. Acuña Obregon Julie Teresa, Bach. Rumaja Santos Marc. |
| Ubicación: | Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil |
| Fecha: | 15/08/2018 |
| Muestra: | Ladrillo Coccionado "M3" |

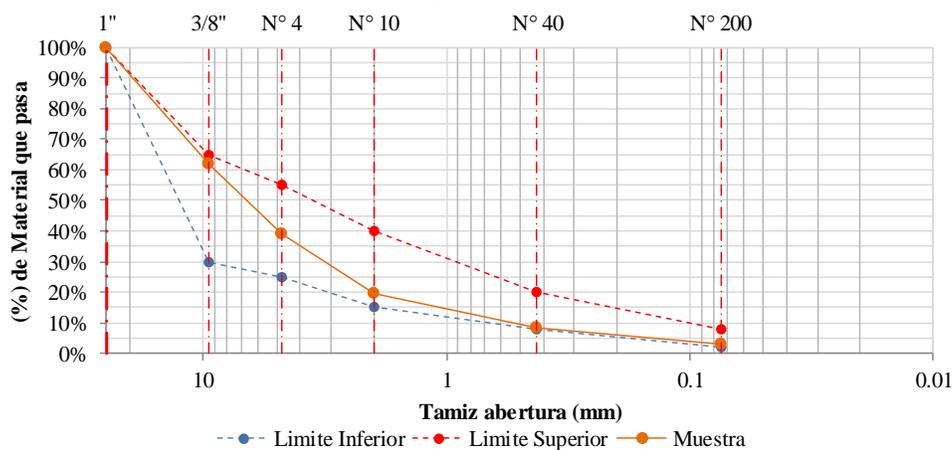
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA

| | |
|---|---------|
| Peso Bandeja (gr) = | 551.6 |
| Peso Bandeja + Muestra Sin Lavar (gr) = | 2386.81 |
| Peso Bandeja + Muestra Lavado Seco (gr) = | 2355.79 |
| Peso Muestra (gr) = | 1804.19 |

| TAMIZ | ABERTURA (mm) | PESO RETENIDO + BANDEJA (gr) | PESO RETENIDO (gr) | CORRECCION LAVADO Y TAMIZADO (gr) | PESO CORREGIDO (gr) | PESO ACUMULADO (gr) | PORCENTAJE ACUMULADO (%) | PORCENTAJE PASANTE (%) |
|---------|---------------|------------------------------|--------------------|-----------------------------------|---------------------|---------------------|--------------------------|------------------------|
| 2" | 50 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00% | 100.00% |
| 1" | 25 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00% | 100.00% |
| 3/8" | 9.5 | 1246.71 | 695.11 | 0.00 | 695.11 | 695.11 | 37.88% | 62.12% |
| N° 4 | 4.75 | 972.66 | 421.06 | 0.00 | 421.06 | 1116.17 | 60.82% | 39.18% |
| N° 10 | 2 | 911.48 | 359.88 | 0.00 | 359.88 | 1476.05 | 80.43% | 19.57% |
| N° 40 | 0.425 | 758.28 | 206.68 | 0.00 | 206.68 | 1682.73 | 91.69% | 8.31% |
| N° 200 | 0.075 | 646.48 | 94.88 | 0.00 | 94.88 | 1777.61 | 96.86% | 3.14% |
| Cazuela | - | 582.62 | 23.01 | 34.59 | 57.60 | 1835.21 | 100.00% | 0.00% |
| Lavado | | | 31.02 | | | | | |
| Total | | 5118.23 | 1800.62 | 34.59 | 1835.21 | | | |

| | |
|---------------------------|-------|
| Error por tamizado (gr) = | 3.57 |
| Error por tamizado (%) = | 0.20% |

Curva Granulométrica M3



Fuente: Elaboración propia

Anexo B-2.1.4.: Análisis granulométrico M4

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

Basado en la Norma ASTM D 1241

| | |
|------------|---|
| Tesis: | "Evaluación de los residuos reciclados de las ladrilleras de San Jerónimo, para la aplicación en sub base de pavimentos, en la ciudad del Cusco - 2018" |
| Tesistas: | Bach. Acuña Obregon Julie Teresa, Bach. Rumaja Santos Marc. |
| Ubicación: | Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil |
| Fecha: | 15/08/2018 |
| Muestra: | Ladrillo Coccionado "M4" |

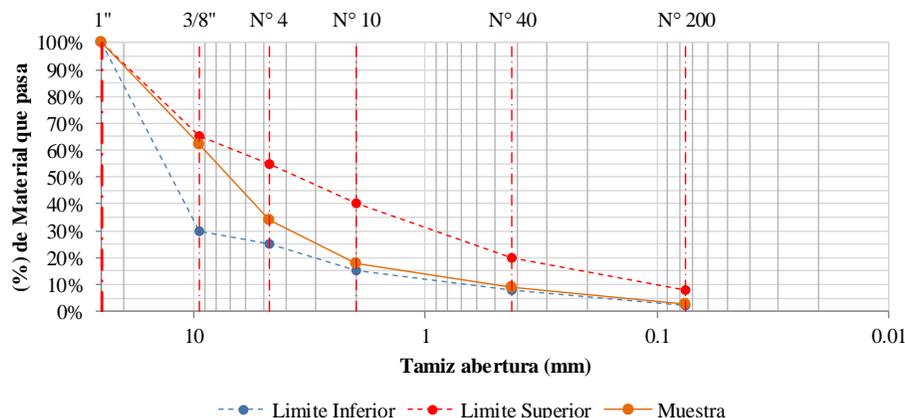
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA

Peso Bandeja (gr) = 551.6
 Peso Bandeja + Muestra Sin Lavar (gr) = 2983.08
 Peso Bandeja + Muestra Lavado Seco (gr) = 2928.26
 Peso Muestra (gr) = 2376.66

| TAMIZ | ABERTURA (mm) | PESO RETENIDO + BANDEJA (gr) | PESO RETENIDO (gr) | CORRECCION LAVADO Y TAMIZADO (gr) | PESO CORREGIDO (gr) | PESO ACUMULADO (gr) | PORCENTAJE ACUMULADO (%) | PORCENTAJE PASANTE (%) |
|---------|---------------|------------------------------|--------------------|-----------------------------------|---------------------|---------------------|--------------------------|------------------------|
| 2" | 50 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00% | 100.00% |
| 1" | 25 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00% | 100.00% |
| 3/8" | 9.5 | 1472.55 | 920.95 | 0.00 | 920.95 | 920.95 | 37.88% | 62.12% |
| N° 4 | 4.75 | 1233.32 | 681.72 | 0.00 | 681.72 | 1602.67 | 65.91% | 34.09% |
| N° 10 | 2 | 951.67 | 400.07 | 0.00 | 400.07 | 2002.74 | 82.37% | 17.63% |
| N° 40 | 0.425 | 764.23 | 212.63 | 0.00 | 212.63 | 2215.37 | 91.11% | 8.89% |
| N° 200 | 0.075 | 703.88 | 152.28 | 0.00 | 152.28 | 2367.65 | 97.37% | 2.63% |
| Cazuela | - | 610.70 | 4.28 | 59.55 | 63.83 | 2431.48 | 100.00% | 0.00% |
| Lavado | | | 54.82 | | | | | |
| Total | | 5736.35 | 2371.93 | 59.55 | 2431.48 | | | |

Error por tamizado (gr) = 4.73
 Error por tamizado (%) = 0.20%

Curva Granulométrica M4



Fuente: Elaboración propia

Anexo B-2.2: Análisis granulométrico Muestra sobre coccionada"

Anexo B-2.2.1.: Análisis granulométrico M1-SC

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

Basado en la Norma ASTM D 1241

| | |
|------------|---|
| Tesis: | "Evaluación de los residuos reciclados de las ladrilleras de San Jerónimo, para la aplicación en sub base de pavimentos, en la ciudad del Cusco - 2018" |
| Tesistas: | Bach. Acuña Obregon Julie Teresa, Bach. Rumaja Santos Marc. |
| Ubicación: | Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil |
| Fecha: | 16/08/2018 |
| Muestra: | Ladrillo Coccionado "M1-SC" |

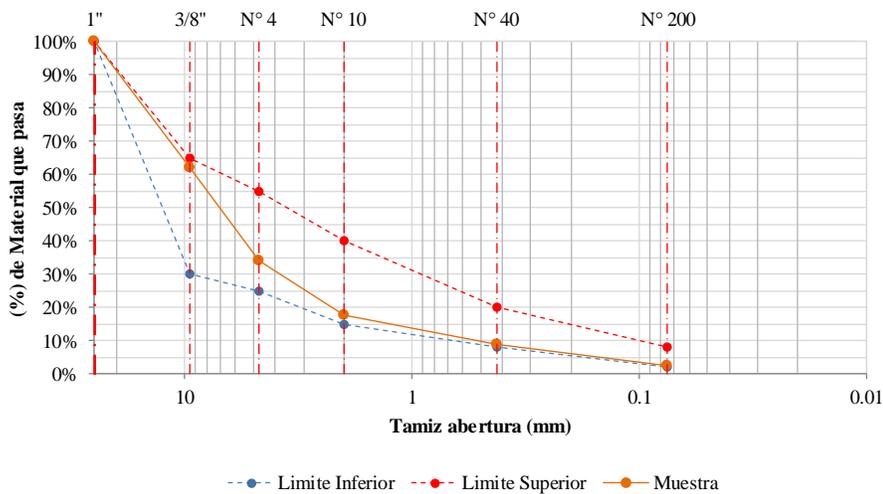
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA

| | |
|---|---------|
| Peso Bandeja (gr) = | 551.6 |
| Peso Bandeja + Muestra Sin Lavar (gr) = | 3034.83 |
| Peso Bandeja + Muestra Lavado Seco (gr) = | 2989.45 |
| Peso Muestra (gr) = | 2437.85 |

| TAMIZ | ABERTURA (mm) | PESO RETENIDO + BANDEJA (gr) | PESO RETENIDO (gr) | CORRECCION LAVADO Y TAMIZADO (gr) | PESO CORREGIDO (gr) | PESO ACUMULADO (gr) | PORCENTAJE ACUMULADO (%) | PORCENTAJE PASANTE (%) |
|---------|---------------|------------------------------|--------------------|-----------------------------------|---------------------|---------------------|--------------------------|------------------------|
| 2" | 50 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00% | 100.00% |
| 1" | 25 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00% | 100.00% |
| 3/8" | 9.5 | 1492.63 | 941.03 | 0.00 | 941.03 | 941.03 | 37.90% | 62.10% |
| Nº 4 | 4.75 | 1248.19 | 696.59 | 0.00 | 696.59 | 1637.62 | 65.95% | 34.05% |
| Nº 10 | 2 | 960.40 | 408.80 | 0.00 | 408.80 | 2046.42 | 82.41% | 17.59% |
| Nº 40 | 0.425 | 768.87 | 217.27 | 0.00 | 217.27 | 2263.69 | 91.16% | 8.84% |
| Nº 200 | 0.075 | 707.20 | 155.60 | 0.00 | 155.60 | 2419.29 | 97.43% | 2.57% |
| Cazuela | - | 566.60 | 15.00 | 48.94 | 63.94 | 2483.23 | 100.00% | 0.00% |
| Lavado | | | 45.38 | | | | | |
| Total | | 5743.89 | 2434.29 | 48.94 | 2483.23 | | | |

| | |
|---------------------------|-------|
| Error por tamizado (gr) = | 3.56 |
| Error por tamizado (%) = | 0.15% |

Curva Granulométrica M1-SC



Fuente: Elaboración propia

Anexo B-2.2.2: Análisis granulométrico M2-SC

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

Basado en la Norma ASTM D 1241

| | |
|------------|---|
| Tesis: | "Evaluación de los residuos reciclados de las ladrilleras de San Jerónimo, para la aplicación en sub base de pavimentos, en la ciudad del Cusco - 2018" |
| Tesistas: | Bach. Acuña Obregon Julie Teresa, Bach. Rumaja Santos Marc. |
| Ubicación: | Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil |
| Fecha: | 16/08/2018 |
| Muestra: | Ladrillo Coccionado "M2-SC" |

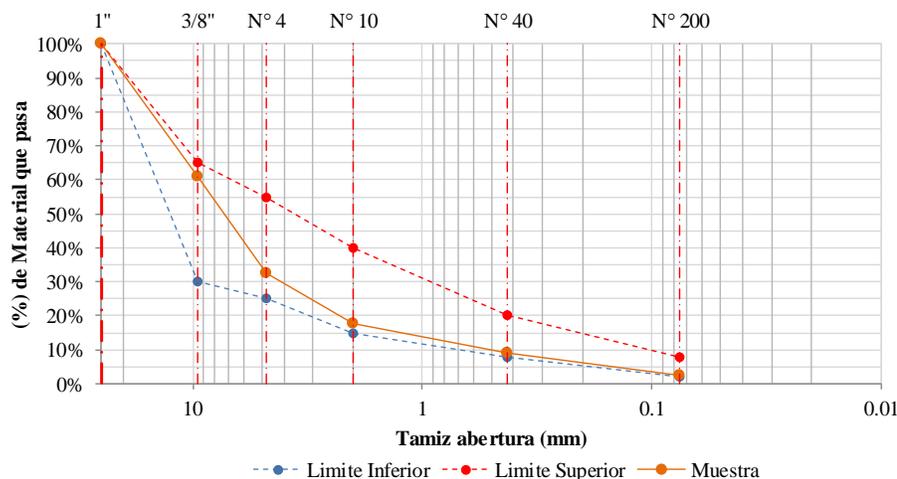
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA

Peso Bandeja (gr) = 551.60
 Peso Bandeja + Muestra Sin Lavar (gr) = 2298.56
 Peso Bandeja + Muestra Lavado Seco (gr) = 2265.3
 Peso Muestra (gr) = 1713.7

| TAMIZ | ABERTURA (mm) | PESO RETENIDO + BANDEJA (gr) | PESO RETENIDO (gr) | CORRECCION LAVADO Y TAMIZADO (gr) | PESO CORREGIDO (gr) | PESO ACUMULADO (gr) | PORCENTAJE ACUMULADO (%) | PORCENTAJE PASANTE (%) |
|---------|---------------|------------------------------|--------------------|-----------------------------------|---------------------|---------------------|--------------------------|------------------------|
| 2" | 50 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00% | 100.00% |
| 1" | 25 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00% | 100.00% |
| 3/8" | 9.5 | 1230.65 | 679.05 | 0.00 | 679.05 | 679.05 | 38.87% | 61.13% |
| N° 4 | 4.75 | 1050.80 | 499.20 | 0.00 | 499.20 | 1178.25 | 67.45% | 32.55% |
| N° 10 | 2 | 812.13 | 260.53 | 0.00 | 260.53 | 1438.78 | 82.36% | 17.64% |
| N° 40 | 0.425 | 704.36 | 152.76 | 0.00 | 152.76 | 1591.54 | 91.10% | 8.90% |
| N° 200 | 0.075 | 661.00 | 109.40 | 0.00 | 109.40 | 1700.94 | 97.37% | 2.63% |
| Cazuela | - | 560.79 | 9.19 | 36.83 | 46.02 | 1746.96 | 100.00% | 0.00% |
| Lavado | | | 33.26 | | | | | |
| Total | | 5019.73 | 1710.13 | 36.83 | 1746.96 | | | |

Error por tamizado (gr) = 3.57
 Error por tamizado (%) = 0.21%

Curva Granulométrica M2-SC



Fuente: Elaboración propia

Anexo B-2.2.3: Análisis granulométrico M3-SC

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

Basado en la Norma ASTM D 1241

| | |
|-------------|---|
| Tesis: | "Evaluación de los residuos reciclados de las ladrilleras de San Jerónimo, para la aplicación en sub base de pavimentos, en la ciudad del Cusco - 2018" |
| Tesisistas: | Bach. Acuña Obregon Julie Teresa, Bach. Rumaja Santos Marc. |
| Ubicación: | Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil |
| Fecha: | 16/08/2018 |
| Muestra: | Ladrillo Coccionado "M3-SC" |

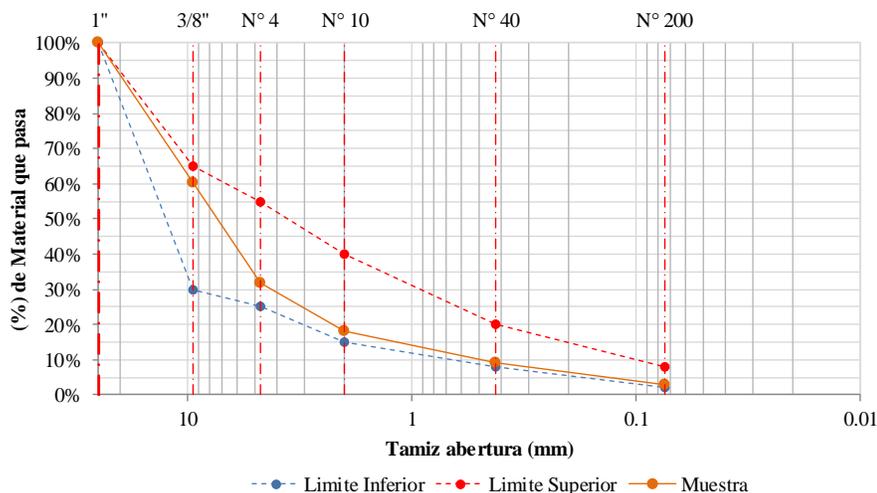
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA

Peso Bandeja (gr) = 551.6
 Peso Bandeja + Muestra Sin Lavar (gr) = 2822.76
 Peso Bandeja + Muestra Lavado Seco (gr) = 2788.44
 Peso Muestra (gr) = 2236.84

| TAMIZ | ABERTURA (mm) | PESO RETENIDO + BANDEJA (gr) | PESO RETENIDO (gr) | CORRECCION LAVADO Y TAMIZADO (gr) | PESO CORREGIDO (gr) | PESO ACUMULADO (gr) | PORCENTAJE ACUMULADO (%) | PORCENTAJE PASANTE (%) |
|---------|---------------|------------------------------|--------------------|-----------------------------------|---------------------|---------------------|--------------------------|------------------------|
| 2" | 50 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00% | 100.00% |
| 1" | 25 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00% | 100.00% |
| 3/8" | 9.5 | 1456.14 | 904.54 | 0.00 | 904.54 | 904.54 | 39.83% | 60.17% |
| Nº 4 | 4.75 | 1195.96 | 644.36 | 0.00 | 644.36 | 1548.90 | 68.20% | 31.80% |
| Nº 10 | 2 | 859.54 | 307.94 | 0.00 | 307.94 | 1856.84 | 81.76% | 18.24% |
| Nº 40 | 0.425 | 755.77 | 204.17 | 0.00 | 204.17 | 2061.01 | 90.75% | 9.25% |
| Nº 200 | 0.075 | 695.14 | 143.54 | 0.00 | 143.54 | 2204.55 | 97.07% | 2.93% |
| Cazuela | - | 580.32 | 28.72 | 37.89 | 66.61 | 2271.16 | 100.00% | 0.00% |
| | | | 34.32 | | | | | |
| Total | | 5542.87 | 2233.27 | 37.89 | 2271.16 | | | |

| | |
|---------------------------|-------|
| Error por tamizado (gr) = | 3.57 |
| Error por tamizado (%) = | 0.16% |

Curva Granulométrica M3-SC



Fuente: Elaboración propia

Anexo B-2.2.4: Análisis granulométrico M4-SC

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

Basado en la Norma ASTM D 1241

| | |
|------------|---|
| Tesis: | "Evaluación de los residuos reciclados de las ladrilleras de San Jerónimo, para la aplicación en sub base de pavimentos, en la ciudad del Cusco - 2018" |
| Tesistas: | Bach. Acuña Obregon Julie Teresa, Bach. Rumaja Santos Marc. |
| Ubicación: | Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil |
| Fecha: | 16/08/2018 |
| Muestra: | Ladrillo Coccionado "M4-SC" |

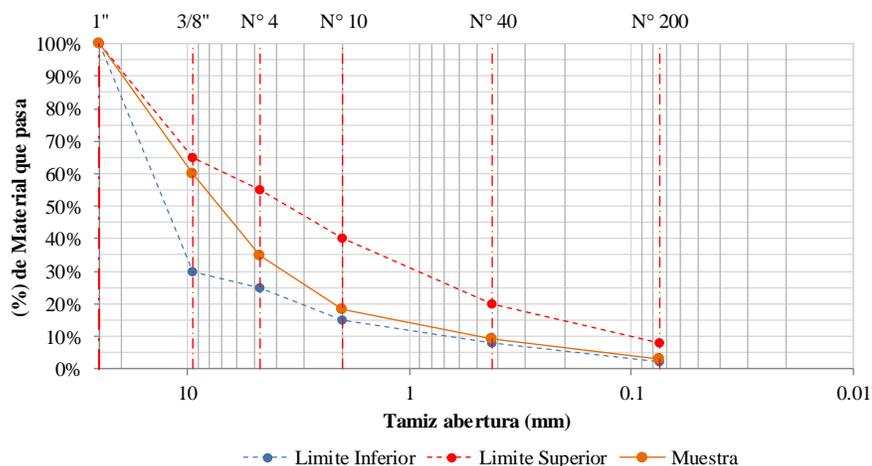
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA

Peso Bandeja (gr) = 551.6
 Peso Bandeja + Muestra Sin Lavar (gr) = 2551.77
 Peso Bandeja + Muestra Lavado Seco (gr) = 2518.89
 Peso Muestra (gr) = 1967.29

| TAMIZ | ABERTURA (mm) | PESO RETENIDO + BANDEJA (gr) | PESO RETENIDO (gr) | CORRECCION LAVADO Y TAMIZADO (gr) | PESO CORREGIDO (gr) | PESO ACUMULADO (gr) | PORCENTAJE ACUMULADO (%) | PORCENTAJE PASANTE (%) |
|---------|---------------|------------------------------|--------------------|-----------------------------------|---------------------|---------------------|--------------------------|------------------------|
| 2" | 50 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00% | 100.00% |
| 1" | 25 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00% | 100.00% |
| 3/8" | 9.5 | 1348.44 | 796.84 | 0.00 | 796.84 | 796.84 | 39.84% | 60.16% |
| Nº 4 | 4.75 | 1058.97 | 507.37 | 0.00 | 507.37 | 1304.21 | 65.20% | 34.80% |
| Nº 10 | 2 | 883.14 | 331.54 | 0.00 | 331.54 | 1635.75 | 81.78% | 18.22% |
| Nº 40 | 0.425 | 731.46 | 179.86 | 0.00 | 179.86 | 1815.61 | 90.77% | 9.23% |
| Nº 200 | 0.075 | 678.04 | 126.44 | 0.00 | 126.44 | 1942.05 | 97.09% | 2.91% |
| Cazuela | - | 574.25 | 22.65 | 35.47 | 58.12 | 2000.17 | 100.00% | 0.00% |
| Lavado | | | 32.88 | | | | | |
| Total | | 5274.30 | 1964.70 | 35.47 | 2000.17 | | | |

Error por tamizado (gr) = 2.59
 Error por tamizado (%) = 0.13%

Curva Granulométrica M4-SC



Fuente: Elaboración propia

Anexo B-3: Abrasión los ángeles

Anexo B-3.1: Abrasión los ángeles “Muestra coccionada”

ABRASIÓN LOS ÁNGELES

Basado en la Norma MTCE 207, ASTM C 131 y AASHTO T 96

| | |
|------------|---|
| Tesis: | "Evaluación de los residuos reciclados de las ladrilleras de San Jerónimo, para la aplicación en sub base de pavimentos, en la ciudad del Cusco - 2018" |
| Tesistas: | Bach. Acuña Obregon Julie Teresa, Bach. Rumaja Santos Marc. |
| Ubicación: | Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil |
| Fecha: | 10/09/2018 |
| Muestra: | Ladrillo Coccionado |

DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA

| Nombre de la Muestra | Peso Muestra + Bandeja | Peso Muestra Seca | Peso Retenido + Recp. Malla N°12 lavado | Peso Retenido Malla N°12 lavado | % Abrasión | Promedio |
|----------------------|------------------------|-------------------|---|---------------------------------|------------|----------|
| M1 | 5222.4 | 5000.8 | 3336.7 | 2696.7 | 46.07% | 45.58% |
| M2 | 5221 | 4999.4 | 3023.6 | 2721.3 | 45.57% | |
| M3 | 5222.3 | 5000.7 | 3070.4 | 2768.1 | 44.65% | |
| M4 | 5220.3 | 4998.7 | 3338.3 | 2698.3 | 46.02% | |

Fuente: Elaboración propia

Anexo B-3.2: Abrasión los ángeles “Muestra sobre coccionada”

ABRASIÓN LOS ÁNGELES

Basado en la Norma MTCE 207, ASTM C 131 y AASHTO T 96

| | |
|------------|---|
| Tesis: | "Evaluación de los residuos reciclados de las ladrilleras de San Jerónimo, para la aplicación en sub base de pavimentos, en la ciudad del Cusco - 2018" |
| Tesistas: | Bach. Acuña Obregon Julie Teresa, Bach. Rumaja Santos Marc. |
| Ubicación: | Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil |
| Fecha: | 10/09/2018 |
| Muestra: | Ladrillo Sobre Coccionado |

DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA

| Nombre de la Muestra | Peso Muestra + Bandeja | Peso Muestra Seca | Peso Retenido + Recp. Malla N°12 lavado | Peso Retenido Malla N°12 lavado | % Abrasión | Promedio |
|----------------------|------------------------|-------------------|---|---------------------------------|------------|----------|
| M1 - SC | 5303.2 | 5000.9 | 3844.9 | 3542.6 | 29.16% | 28.45% |
| M2 - SC | 5302.8 | 5000.5 | 3887.2 | 3584.9 | 28.31% | |
| M3 - SC | 5301.8 | 4999.5 | 3858.4 | 3556.1 | 28.87% | |
| M4 - SC | 5303.2 | 5000.9 | 3929.9 | 3627.6 | 27.46% | |

Fuente: Elaboración propia

Anexo B-4: CBR

Anexo B-4.1: CBR "Muestra coccionada"

Anexo B-4.1.1: CBR M1 (1)

Ensayo: PROCTOR MODIFICADO

| | |
|------------|---|
| Tesis: | "Evaluación de los residuos reciclados de las ladrilleras de San Jerónimo, para la aplicación en sub base de pavimentos, en la ciudad del Cusco - 2018" |
| Tesistas: | Bach. Acuña Obregon Julie Teresa, Bach. Rumaja Santos Marc. |
| Ubicación: | Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil |
| Fecha: | 27/08/2018 |
| Muestra: | M1-C (Ladrillo Coccionado) |

| | | | |
|-----------------------------------|-----------------------|---|---------------------|
| Humedad Optima (%): 10.40% | | Densidad. Seca Maxima 1.512 gr/cm3 | |
| Nº Golpes / capa: 56 | Nº Capas: 5 | Peso del Martillo: 10 Lbs. | |
| Dimensiones del Molde | Diámetro (Cm): 15.240 | Altura (cm): 11.6434 | Vol. (cm3): 2123.92 |
| | Sobrecarg 10 Lbs. | | |

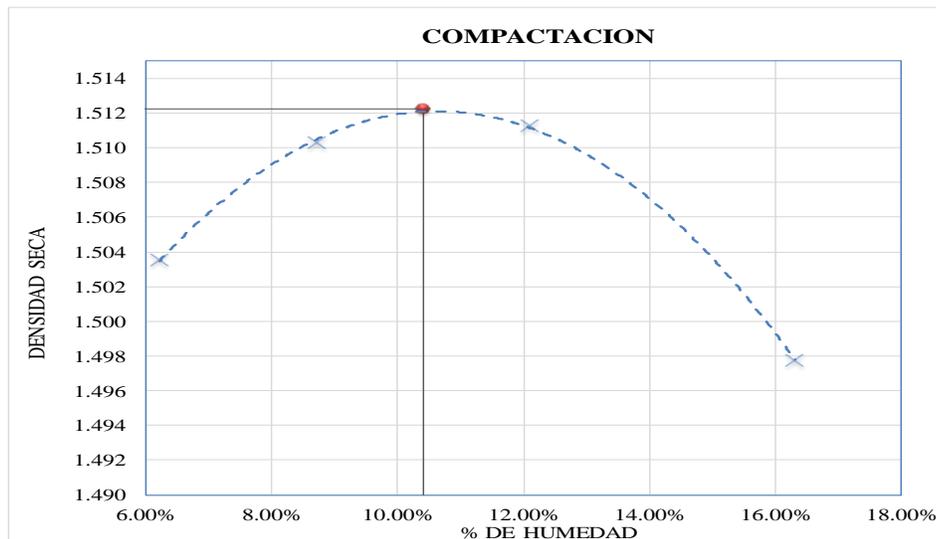
RELACION DENSIDAD - HUMEDAD (PROCTOR MODIFICADO) ASTM D-1557

DETERMINACION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD

| MUESTRA Nº | 1 | | 2 | | 3 | | 4 | |
|---------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Peso de la Capsula(gr) | 58.55 | 52.46 | 57.69 | 57.64 | 58.30 | 57.74 | 59.73 | 59.03 |
| Peso del Capsula + muestra húmeda(gr) | 129.55 | 130.28 | 137.08 | 136.73 | 119.80 | 106.13 | 133.40 | 139.52 |
| Peso del Capsula + muestra seca (gr) | 125.57 | 125.54 | 131.36 | 129.75 | 113.42 | 100.71 | 123.40 | 127.88 |
| Peso del agua (gr) | 3.98 | 4.74 | 5.72 | 6.98 | 6.38 | 5.42 | 10.00 | 11.64 |
| Peso del material seco (gr) | 67.0 | 73.1 | 73.7 | 72.1 | 55.1 | 43.0 | 63.7 | 68.9 |
| Contenido de humedad (gr) | 5.94% | 6.49% | 7.76% | 9.68% | 11.57% | 12.61% | 15.71% | 16.91% |
| % PROMEDIO | 6.21% | | 8.72% | | 12.09% | | 16.31% | |

DETERMINACION DE LA DENSIDAD

| | | | | |
|----------------------------|--------------|--------------|---------------------------|---------------|
| Contenido de Humedad % | 6.21% | 8.72% | 12.09% | 16.31% |
| Peso del suelo +Molde (gr) | 9855.0 | 9950.8 | 10061.3 | 10163.1 |
| Peso del Molde (gr) | 6463.20 | 6463.20 | 6463.20 | 6463.20 |
| Peso del suelo Húmedo (gr) | 3391.80 | 3487.60 | 3598.10 | 3699.90 |
| Densidad Húmeda (gr/cm3) | 1.597 | 1.642 | 1.694 | 1.742 |
| Densidad seca (gr/cm3) | 1.504 | 1.510 | 1.511 | 1.498 |
| | | | Densidad Máxima (grs/cm3) | 1.512 |
| | | | Humedad Optima% | 10.40% |



Fuente: Elaboración propia

Anexo B-4.1.1: CBR M1 (2)

Ensayo: VALOR DE SOPORTE RELATIVO (C.B.R) "Compactacion y Penetracion"

| | |
|------------|---|
| Tesis: | "Evaluación de los residuos reciclados de las ladrilleras de San Jerónimo, para la aplicación en sub base de pavimentos, en la ciudad del Cusco - 2018" |
| Tesistas: | Bach. Acuña Obregon Julie Teresa, Bach. Rumaja Santos Marc. |
| Ubicación: | Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil |
| Fecha: | 03/09/2018 |
| Muestra: | M1-C (Ladrillo Coccionado) |

Humedad Optima (%): **10.40%**

Densidad. Seca Maxima **1.512** gr/cm3

COMPACTACIÓN "Densidad Seca y Contenido de Humedad"

| Molde N° | Uno | Dos | Tres |
|--|--------------|--------------|----------------|
| N° de golpes por capa | 12 | 26 | 55 |
| CONDICIONES DE LA MUESTRA | 3000 | 3000 | 3000 |
| Peso del Molde + suelo húmedo (grs) | 10953.60 | 10702.70 | 11908.10 |
| Peso del molde (gramos) | 7008.40 | 6510.30 | 7673.50 |
| Peso del suelo húmedo (grs.) | 3945.20 | 4192.40 | 4234.60 |
| Volumen del molde (cm3) | 2200.84 | 2316.67 | 2316.67 |
| Densidad húmeda (grs./cm3) | 1.79 | 1.81 | 1.83 |
| Densidad seca (grs./cm3) | 1.49 | 1.50 | 1.51484 |
| Capsula N° | Uno | Dos | Tres |
| Peso de la Capsula + suelo húmedo (grs.) | 123.06 | 116.13 | 131.64 |
| Peso de la Capsula + suelo seco (grs.) | 111.83 | 106.25 | 119.14 |
| Peso del agua (grs.) | 11.23 | 9.88 | 12.50 |
| Peso de la Capsula (grs.) | 56.61 | 57.72 | 58.65 |
| Peso del suelo seco (grs.) | 55.22 | 48.53 | 60.49 |
| Contenido de Humedad (%) | 20.34 | 20.36 | 20.66 |

PENETRACIÓN

| PENETRACIÓN (plg) | MOLDE N°01-N° de Golpes 12 | | | MOLDE N°02-N° de Golpes 26 | | | MOLDE N°03- N° de Golpes 55 | | |
|-------------------|----------------------------|----------------|--------------------------|----------------------------|----------------|--------------------------|-----------------------------|----------------|--------------------------|
| | LECTURA (DIAL) | Carga (Libras) | Es fuerzo (Libras /plg2) | LECTURA (DIAL) | Carga (Libras) | Es fuerzo (Libras /plg2) | LECTURA (DIAL) | Carga (Libras) | Es fuerzo (Libras /plg2) |
| 0.000 | 0.00 | 0.0 | 0.00 | 0.00 | 0.0 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 0.025 | 6.00 | 55.9 | 52.39 | 18.50 | 176.0 | 58.66 | 14.00 | 132.78 | 66.20 |
| 0.050 | 16.00 | 152.0 | 108.18 | 33.50 | 319.9 | 106.65 | 34.00 | 324.75 | 194.35 |
| 0.075 | 31.50 | 300.8 | 163.25 | 51.00 | 487.8 | 162.58 | 58.00 | 554.83 | 320.05 |
| 0.100 | 50.50 | 483.0 | 217.61 | 69.00 | 660.2 | 220.06 | 88.50 | 846.79 | 443.30 |
| 0.125 | 69.00 | 660.2 | 271.27 | 85.50 | 818.1 | 272.70 | 123.00 | 1176.45 | 564.09 |
| 0.150 | 88.00 | 842.0 | 324.22 | 106.00 | 1014.1 | 338.03 | 162.50 | 1553.13 | 682.44 |
| 0.200 | 121.00 | 1157.4 | 427.99 | 146.00 | 1395.9 | 465.29 | 240.50 | 2294.57 | 911.77 |
| 0.300 | 181.50 | 1734.0 | 627.03 | 223.50 | 2133.2 | 711.08 | 392.50 | 3730.52 | 1341.01 |
| 0.400 | 240.50 | 2294.6 | 814.73 | 296.00 | 2820.2 | 940.08 | 530.50 | 5024.20 | 1731.03 |
| 0.500 | 297.50 | 2834.4 | 991.09 | 363.00 | 3452.7 | 1150.91 | 640.00 | 6044.07 | 2081.83 |
| 0.600 | 353.50 | 3363.2 | 1156.12 | 429.00 | 4073.6 | 1357.87 | 724.50 | 6827.15 | 2393.39 |

Fuente: Elaboración propia

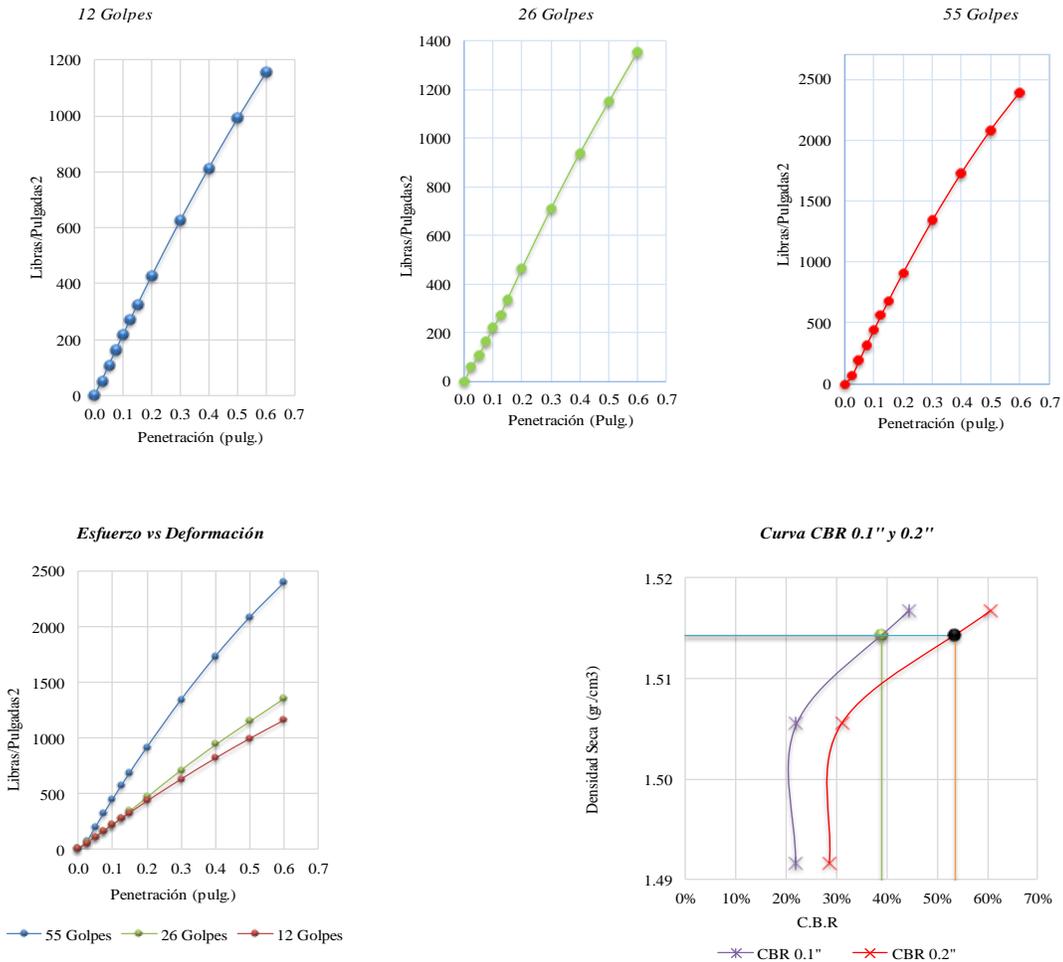
Anexo B-4.1.1: CBR M1 (3)

Ensayo: VALOR DE SOPORTE RELATIVO (C.B.R) "Graficos Esfuerzo vs Deformación"

| | |
|------------|---|
| Tesis: | "Evaluación de los residuos reciclados de las ladrilleras de San Jerónimo, para la aplicación en sub base de pavimentos, en la ciudad del Cusco - 2018" |
| Tesistas: | Bach. Acuña Obregon Julie Teresa, Bach. Rumaja Santos Marc. |
| Ubicación: | Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil |
| Fecha: | 03/09/2018 |
| Muestra: | M1-C (Ladrillo Coccionado) |

Humedad Optima (%): **10.40%**

Densidad. Seca Maxima **1.512** gr/cm³



| Densidad Seca.(gr./cm ³) | CBR-"0.1" | CBR-0.2" |
|---|---------------|--------------|
| 1.490 | 21.76% | 28.53% |
| 1.504 | 22.01% | 31.02% |
| 1.515 | 44.33% | 60.78% |
| Maxima densidad seca(gr./cm³) | | |
| 1.512 | 39.00% | 53.5% |

Fuente: Elaboración propia

Anexo B-4.1.2: CBR M2 (1)

Ensayo: PROCTOR MODIFICADO

| | |
|------------|---|
| Tesis: | "Evaluación de los residuos reciclados de las ladrilleras de San Jerónimo, para la aplicación en sub base de pavimentos, en la ciudad del Cusco - 2018" |
| Tesistas: | Bach. Acuña Obregon Julie Teresa, Bach. Rumaja Santos Marc. |
| Ubicación: | Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil |
| Fecha: | 27/08/2018 |
| Muestra: | M2-C (Ladrillo Coccionado) |

Humedad Optima (%): **9.59%**

Densidad. Seca Maxima **1.519** gr/cm3

N° Golpes / capa: 56 N° Capas: 5 Peso del Martillo: 10 Lbs.
 Dimensiones del Molde: Diámetro (Cm): 15.240 Altura (cm): 11.6434 Vol. (cm3): 2123.92
 Sobrecarg: 10 Lbs.

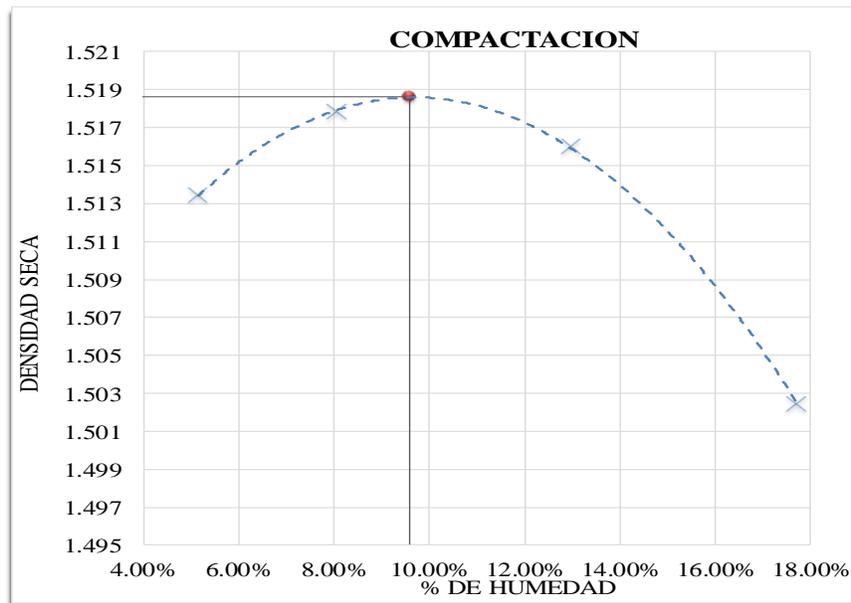
RELACION DENSIDAD - HUMEDAD (PROCTOR MODIFICADO) ASTM D-1557

DETERMINACION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD

| MUESTRA N° | 1 | | 2 | | 3 | | 4 | |
|---------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Peso de la Capsula(gr) | 54.00 | 57.19 | 60.53 | 59.31 | 58.14 | 58.85 | 57.83 | 60.74 |
| Peso del Capsula + muestra húmeda(gr) | 129.24 | 124.28 | 123.39 | 134.70 | 126.14 | 139.02 | 137.19 | 137.97 |
| Peso del Capsula + muestra seca (gr) | 125.54 | 121.01 | 118.60 | 129.19 | 118.31 | 129.86 | 125.26 | 126.34 |
| Peso del agua (gr) | 3.70 | 3.27 | 4.79 | 5.51 | 7.83 | 9.16 | 11.93 | 11.63 |
| Peso del material seco (gr) | 71.5 | 63.8 | 58.1 | 69.9 | 60.2 | 71.0 | 67.4 | 65.6 |
| Contenido de humedad (gr) | 5.17% | 5.12% | 8.25% | 7.88% | 13.01% | 12.90% | 17.69% | 17.73% |
| % PROMEDIO | 5.15% | | 8.07% | | 12.96% | | 17.71% | |

DETERMINACION DE LA DENSIDAD

| | | | | |
|----------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Contenido de Humedad % | 5.15% | 8.07% | 12.96% | 17.71% |
| Peso del suelo +Molde (gr) | 9843.1 | 9947.1 | 10100.2 | 10219.5 |
| Peso del Molde (gr) | 6463.20 | 6463.20 | 6463.20 | 6463.20 |
| Peso del suelo Húmedo (gr) | 3379.90 | 3483.90 | 3637.00 | 3756.30 |
| Densidad Húmeda (gr/cm3) | 1.591 | 1.640 | 1.712 | 1.769 |
| Densidad seca (gr/cm3) | 1.513 | 1.518 | 1.516 | 1.502 |
| Densidad Máxima (gr/cm3) | | | | 1.519 |
| Humedad Optima% | | | | 9.59% |



Fuente: Elaboración propia

Anexo B-4.1.2: CBR M2 (2)

Ensayo: VALOR DE SOPORTE RELATIVO (C.B.R) "Compactacion y Penetracion"

| | |
|------------|---|
| Tesis: | "Evaluación de los residuos reciclados de las ladrilleras de San Jerónimo, para la aplicación en sub base de pavimentos, en la ciudad del Cusco - 2018" |
| Tesistas: | Bach. Acuña Obregon Julie Teresa, Bach. Rumaja Santos Marc. |
| Ubicación: | Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil |
| Fecha: | 03/09/2018 |
| Muestra: | M2-C (Ladrillo Coccionado) |

Humedad Optima (%): **9.59%**

Densidad. Seca Maxima **1.519** gr/cm³

VALOR SOPORTE RELATIVO (C.B.R.) ASTM - D 1883
COMPACTACIÓN

| Molde N° | Uno | Dos | Tres |
|--|--------------|--------------|--------------|
| N° de golpes por capa | 12 | 25 | 56 |
| CONDICIONES DE LA MUESTRA | 3000 | 3000 | 3000 |
| Peso del molde + suelo húmedo (grs) | 11247.70 | 11925.80 | 11129.20 |
| Peso del molde (gramos) | 7040.60 | 7660.60 | 6818.20 |
| Peso del suelo húmedo (grs.) | 4207.10 | 4265.20 | 4311.00 |
| Volumen del molde (cc) | 2316.67 | 2316.67 | 2316.67 |
| Densidad húmeda (grs./cm ³) | 1.82 | 1.84 | 1.86 |
| Densidad seca (grs./cm³) | 1.490 | 1.508 | 1.524 |
| Capsula N° | Uno | Dos | Tres |
| Peso de la Capsula + suelo húmedo (grs.) | 104.38 | 110.70 | 105.72 |
| Peso de la Capsula + suelo seco (grs.) | 96.20 | 101.20 | 97.39 |
| Peso del agua (grs.) | 8.18 | 9.50 | 8.33 |
| Peso de la Capsula (grs.) | 58.87 | 58.24 | 59.73 |
| Peso del suelo seco (grs.) | 37.33 | 42.96 | 37.66 |
| Contenido de Humedad (%) | 21.91 | 22.11 | 22.12 |

PENETRACIÓN

| PENETRACIÓN (plg) | MOLDE N°01-N° de Golpes 12 | | | MOLDE N°02-N° de Golpes 26 | | | MOLDE N°03- N° de Golpes 55 | | |
|-------------------|----------------------------|----------------|---------------------------------------|----------------------------|----------------|---------------------------------------|-----------------------------|----------------|---------------------------------------|
| | LECTURA (DIAL) | Carga (Libras) | Es fuerzo (Libras /plg ²) | LECTURA (DIAL) | Carga (Libras) | Es fuerzo (Libras /plg ²) | LECTURA (DIAL) | Carga (Libras) | Es fuerzo (Libras /plg ²) |
| 0.000 | 0.00 | 0.0 | 0.00 | 0.00 | 0.0 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 0.025 | 5.00 | 46.3 | 48.56 | 25.50 | 243.2 | 81.06 | 25.00 | 238.38 | 185.45 |
| 0.050 | 22.00 | 209.6 | 104.99 | 44.50 | 425.4 | 141.81 | 45.00 | 430.24 | 317.36 |
| 0.075 | 56.00 | 535.7 | 160.66 | 62.00 | 593.1 | 197.72 | 69.00 | 660.18 | 446.51 |
| 0.100 | 99.00 | 947.2 | 215.55 | 80.00 | 765.5 | 255.16 | 99.50 | 951.97 | 572.89 |
| 0.125 | 141.00 | 1348.2 | 269.68 | 99.50 | 952.0 | 317.32 | 134.00 | 1281.43 | 696.51 |
| 0.150 | 180.00 | 1719.7 | 323.05 | 117.00 | 1119.2 | 373.05 | 173.50 | 1657.88 | 817.38 |
| 0.200 | 250.00 | 2384.7 | 427.49 | 157.00 | 1500.7 | 500.24 | 251.50 | 2398.88 | 1050.82 |
| 0.300 | 377.00 | 3584.6 | 627.17 | 234.50 | 2237.6 | 745.88 | 403.50 | 3833.98 | 1484.56 |
| 0.400 | 494.00 | 4682.9 | 814.60 | 307.00 | 2924.2 | 974.75 | 541.50 | 5126.91 | 1874.11 |
| 0.500 | 590.00 | 5579.1 | 989.78 | 374.00 | 3556.4 | 1185.46 | 651.00 | 6146.20 | 2219.48 |
| 0.600 | 683.00 | 6443.0 | 1152.71 | 440.00 | 4176.9 | 1392.29 | 735.50 | 6928.84 | 2520.67 |

Fuente: Elaboración propia

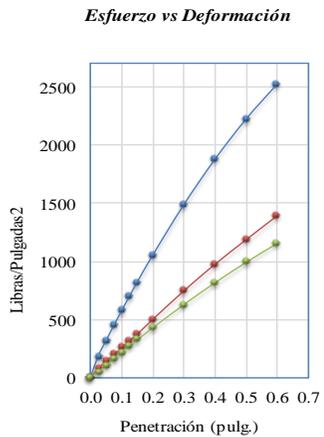
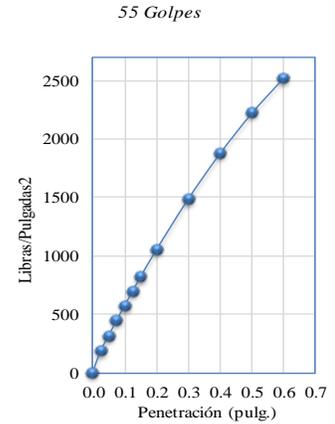
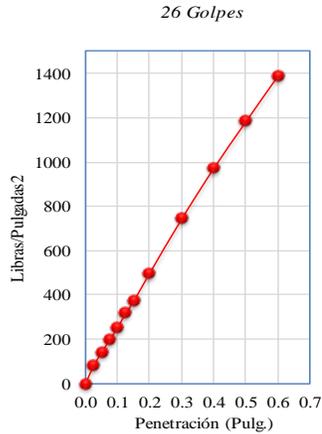
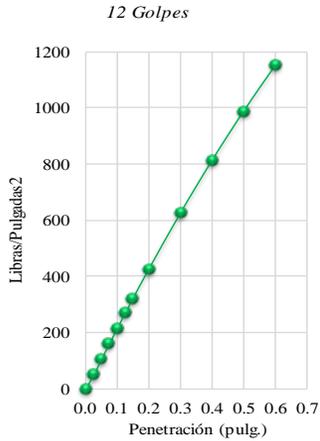
Anexo B-4.1.2: CBR M2 (3)

Ensayo: VALOR DE SOPORTE RELATIVO (C.B.R) "Graficos"

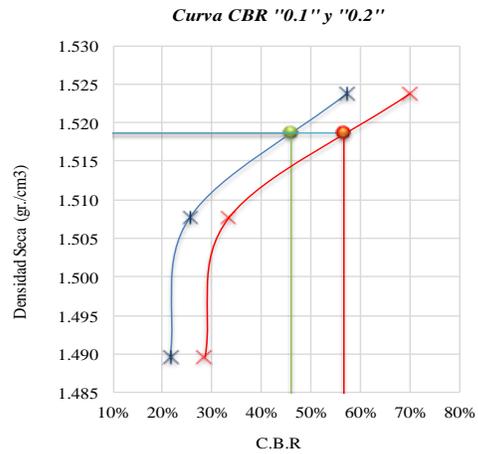
| | |
|------------|---|
| Tesis: | "Evaluación de los residuos reciclados de las ladrilleras de San Jerónimo, para la aplicación en sub base de pavimentos, en la ciudad del Cusco - 2018" |
| Tesistas: | Bach. Acuña Obregon Julie Teresa, Bach. Rumaja Santos Marc. |
| Ubicación: | Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil |
| Fecha: | 03/09/2018 |
| Muestra: | M2-C (Ladrillo Coccionado) |

Humedad Óptima (%): **9.59%**

Densidad. Seca Maxima **1.519** gr/cm3



—●— 55 Golpes —●— 26 Golpes —●— 12 Golpes



—*— CBR "0.1" —*— CBR "0.2"

| Densidad Seca.(gr./cm3) | CBR-"0.1" | CBR-0.2" |
|--------------------------------------|---------------|---------------|
| 1.490 | 21.56% | 28.50% |
| 1.508 | 25.52% | 33.35% |
| 1.52 | 57.29% | 70.05% |
| Maxima densidad seca(gr./cm3) | | |
| 1.519 | 46.00% | 56.6% |

Fuente: Elaboración propia

Anexo B-4.1.3: CBR M3 (1)

Ensayo: PROCTOR MODIFICADO

| | |
|------------|---|
| Tesis: | "Evaluación de los residuos reciclados de las ladrilleras de San Jerónimo, para la aplicación en sub base de pavimentos, en la ciudad del Cusco - 2018" |
| Tesistas: | Bach. Acuña Obregon Julie Teresa, Bach. Runaja Santos Marc. |
| Ubicación: | Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil |
| Fecha: | 27/08/2018 |
| Muestra: | M3-C (Ladrillo Coccionado) |

Humedad Optima (%): **11.71%**

Densidad. Seca Maxima **1.420** gr/cm3

RELACION DENSIDAD - HUMEDAD (PROCTOR MODIFICADO) ASTM D-1557

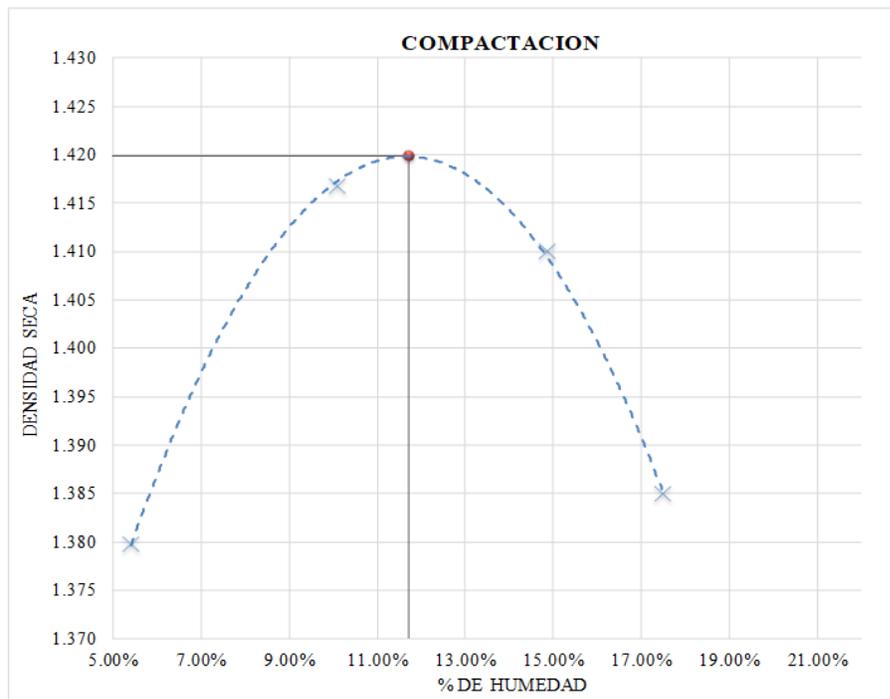
N° Golpes / capa: 56 N° Capas: 5 Peso del Martillo: 10 Lbs.
 Dimensiones del Molde: Diámetro (Cm): 15.240 Altura (cm): 11.6434 Vol (cm³): 2123.92
 Sobrecarga: 10 Lbs.

DETERMINACION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD

| MUESTRA N° | 1 | | 2 | | 3 | | 4 | |
|--|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Peso de la Capsula (gr) | 58.54 | 52.45 | 57.69 | 57.63 | 58.29 | 57.73 | 59.73 | 59.02 |
| Peso del Capsula + muestra húmeda (gr) | 119.39 | 130.43 | 114.46 | 141.16 | 135.84 | 125.78 | 113.66 | 129.61 |
| Peso del Capsula + muestra seca (gr) | 116.16 | 126.57 | 109.48 | 133.18 | 125.78 | 117.00 | 105.66 | 119.08 |
| Peso del agua (gr) | 3.23 | 3.86 | 4.98 | 7.98 | 10.06 | 8.78 | 8.00 | 10.53 |
| Peso del material seco (gr) | 57.6 | 74.1 | 51.8 | 75.6 | 67.5 | 59.3 | 45.9 | 60.1 |
| Contenido de humedad (gr) | 5.61% | 5.21% | 9.62% | 10.56% | 14.91% | 14.81% | 17.42% | 17.53% |
| % PROMEDIO | 5.41% | | 10.09% | | 14.86% | | 17.48% | |

DETERMINACION DE LA DENSIDAD

| | | | | |
|---------------------------------------|---------|---------|---------------------------------------|---------------|
| Contenido de Humedad % | 5.41% | 10.09% | 14.86% | 17.48% |
| Peso del suelo + Molde (gr) | 9552.2 | 9775.9 | 9903.2 | 9919.0 |
| Peso del Molde (gr) | 6463.20 | 6463.20 | 6463.20 | 6463.20 |
| Peso del suelo Húmedo (gr) | 3089.00 | 3312.70 | 3440.00 | 3455.80 |
| Densidad Húmeda (gr/cm ³) | 1.454 | 1.560 | 1.620 | 1.627 |
| Densidad seca (gr/cm ³) | 1.380 | 1.417 | 1.410 | 1.385 |
| | | | Densidad Máxima (gr/cm ³) | 1.420 |
| | | | Humedad Optima% | 11.71% |



Fuente: Elaboración propia

Anexo B-4.1.3: CBR M3 (2)

Ensayo: VALOR DE SOPORTE RELATIVO (C.B.R) "Compactacion y Penetracion"

| | |
|------------|---|
| Tesis: | "Evaluación de los residuos reciclados de las ladrilleras de San Jerónimo, para la aplicación en sub base de pavimentos, en la ciudad del Cusco - 2018" |
| Tesistas: | Bach. Acuña Obregon Julie Teresa, Bach. Rumaja Santos Marc. |
| Ubicación: | Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil |
| Fecha: | 03/09/2018 |
| Muestra: | M3-C (Ladrillo Coccionado) |

Humedad Optima (%): **11.71%**

Densidad. Seca Maxima **1.420** gr/cm³

COMPACTACIÓN

| Molde N° | Uno | Dos | Tres |
|--|--------------|--------------|----------------|
| N° de golpes por capa | 12 | 26 | 55 |
| CONDICIONES DE LA MUESTRA | 3000 | 3000 | 3000 |
| Peso del molde + suelo húmedo (grs) | 10394.30 | 11865.60 | 11027.30 |
| Peso del molde (gramos) | 6503.00 | 7898.70 | 6999.30 |
| Peso del suelo húmedo (grs.) | 3891.30 | 3966.90 | 4028.00 |
| Volumen del molde (cm ³) | 2316.67 | 2316.67 | 2316.67 |
| Densidad húmeda (grs./cm ³) | 1.68 | 1.71 | 1.74 |
| Densidad seca (grs./cm³) | 1.38 | 1.41 | 1.42318 |
| Capsula N° | Uno | Dos | Tres |
| Peso de la Capsula + suelo húmedo (grs.) | 104.92 | 111.90 | 126.09 |
| Peso de la Capsula + suelo seco (grs.) | 96.54 | 101.30 | 114.77 |
| Peso del agua (grs.) | 8.38 | 10.60 | 11.32 |
| Peso de la Capsula (grs.) | 57.26 | 52.43 | 63.71 |
| Peso del suelo seco (grs.) | 39.28 | 48.87 | 51.06 |
| Contenido de Humedad (%) | 21.33 | 21.69 | 22.17 |

PENETRACIÓN

| PENETRACIÓN (plg) | MOLDE N°01-N° de Golpes 12 | | | MOLDE N°02-N° de Golpes 26 | | | MOLDE N°03- N° de Golpes 55 | | |
|-------------------|----------------------------|----------------|---------------------------------------|----------------------------|----------------|---------------------------------------|-----------------------------|----------------|---------------------------------------|
| | LECTURA (DIAL) | Carga (Libras) | Es fuerzo (Libras /plg ²) | LECTURA (DIAL) | Carga (Libras) | Es fuerzo (Libras /plg ²) | LECTURA (DIAL) | Carga (Libras) | Es fuerzo (Libras /plg ²) |
| 0.000 | 0.00 | 0.0 | 0.00 | 0.00 | 0.0 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 0.025 | 5.00 | 46.3 | 45.68 | 7.50 | 70.3 | 44.11 | 8.00 | 75.14 | 86.37 |
| 0.050 | 11.00 | 104.0 | 98.69 | 22.50 | 214.4 | 104.65 | 23.00 | 219.19 | 212.26 |
| 0.075 | 25.50 | 243.2 | 151.21 | 40.00 | 382.3 | 164.88 | 47.00 | 449.41 | 335.80 |
| 0.100 | 39.50 | 377.5 | 203.23 | 58.00 | 554.8 | 224.82 | 77.50 | 741.55 | 457.00 |
| 0.125 | 58.00 | 554.8 | 254.74 | 74.50 | 712.8 | 284.44 | 112.00 | 1071.41 | 575.85 |
| 0.150 | 77.00 | 736.8 | 305.76 | 95.00 | 908.9 | 343.76 | 151.50 | 1448.31 | 692.36 |
| 0.200 | 110.00 | 1052.3 | 406.29 | 135.00 | 1291.0 | 461.49 | 229.50 | 2190.20 | 918.33 |
| 0.300 | 170.50 | 1629.3 | 601.35 | 212.50 | 2028.8 | 693.28 | 381.50 | 3626.99 | 1342.12 |
| 0.400 | 229.50 | 2190.2 | 788.40 | 285.00 | 2716.2 | 920.18 | 519.50 | 4921.42 | 1728.37 |
| 0.500 | 286.50 | 2730.4 | 967.45 | 352.00 | 3349.1 | 1142.21 | 629.00 | 5941.88 | 2077.09 |
| 0.600 | 342.50 | 3259.5 | 1138.50 | 418.00 | 3970.3 | 1359.34 | 713.50 | 6725.40 | 2388.27 |

Fuente: Elaboración propia

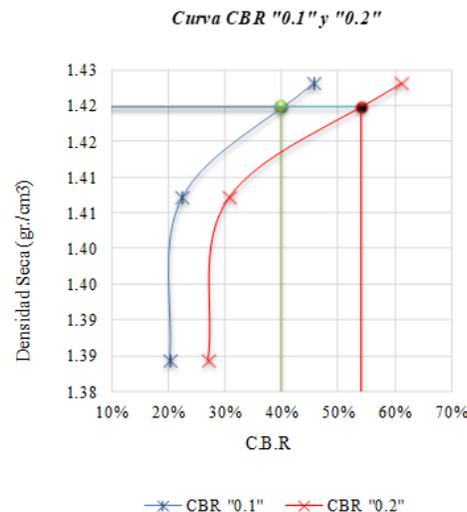
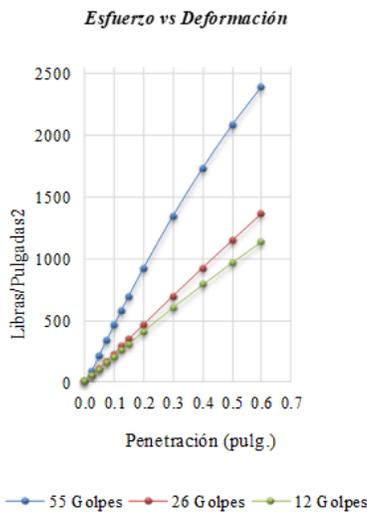
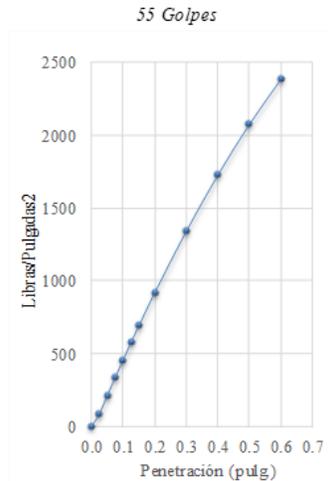
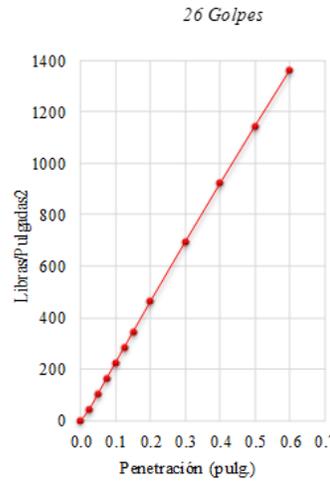
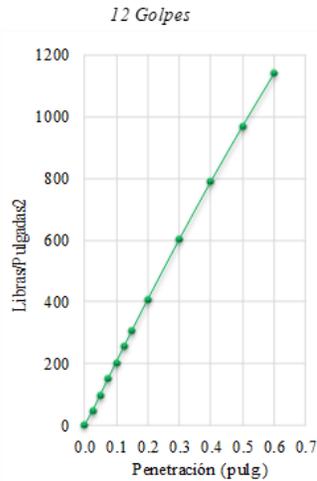
Anexo B-4.1.3: CBR M3 (3)

Ensayo: VALOR DE SOPORTE RELATIVO (C.B.R) "Graficos"

| | |
|------------|---|
| Tesis: | "Evaluación de los residuos reciclados de las ladrilleras de San Jerónimo, para la aplicación en sub base de pavimentos, en la ciudad del Cusco - 2018" |
| Tesistas: | Bach. Acuña Obregon Julié Teresa, Bach. Rumaja Santos Marc. |
| Ubicación: | Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil |
| Fecha: | 03/09/2018 |
| Muestra: | M3-C (Ladrillo Coccionado) |

Humedad Óptima (%): **11.71%**

Densidad. Seca Maxima **1.420** gr/cm³



| Densidad Seca.(gr./cm ³) | CBR-"0.1" | CBR-"0.2" |
|---|---------------|--------------|
| 1.38 | 20.32% | 27.09% |
| 1.41 | 22.48% | 30.77% |
| 1.42 | 45.70% | 61.22% |
| Maxima densidad seca(gr./cm³) | | |
| 1.420 | 40.00% | 54.0% |

Fuente: Elaboración propia

Anexo B-4.1.4: CBR M4 (1)

Ensayo: PROCTOR MODIFICADO

| | |
|------------|---|
| Tesis: | "Evaluación de los residuos reciclados de las ladrilleras de San Jerónimo, para la aplicación en sub base de pavimentos, en la ciudad del Cusco - 2018" |
| Tesistas: | Bach. Acuña Obregon Julie Teresa, Bach. Rumaja Santos Marc. |
| Ubicación: | Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil |
| Fecha: | 27/08/2018 |
| Muestra: | M4-C (Ladrillo Coccionado) |

| | | | | |
|---------------------|---------------|-----------------------|--------------|--------------------|
| Humedad Optima (%): | 10.03% | Densidad. Seca Maxima | 1.486 | gr/cm ³ |
|---------------------|---------------|-----------------------|--------------|--------------------|

RELACION DENSIDAD - HUMEDAD (PROCTOR MODIFICADO) ASTM D-1557

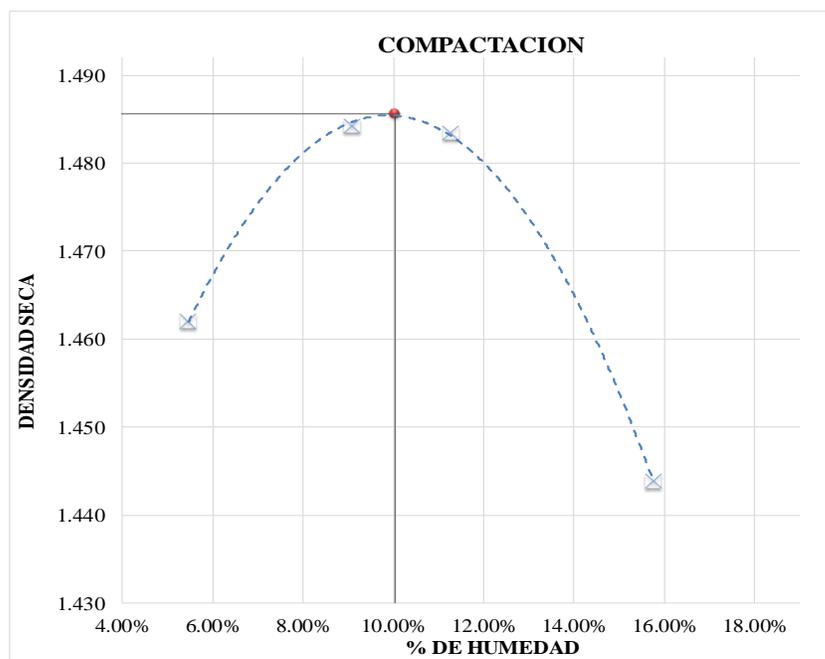
| | | | | | |
|-----------------------|----|----------------|---------|--------------------------|---------|
| Nº Golpes / capa: | 56 | Nº Capas: | 5 | Peso del Martillo: | 10 Lbs. |
| Dimensiones del Molde | | Diámetro (Cm): | 15.240 | Altura (cm): | 11.6434 |
| | | Sobrecarga: | 10 Lbs. | Vol. (cm ³): | 2123.92 |

DETERMINACION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD

| MUESTRA Nº | 1 | 2 | 3 | 4 |
|--|--------|--------|--------|--------|
| Peso de la Capsula (gr) | 53.99 | 57.18 | 60.48 | 59.27 |
| Peso del Capsula + muestra húmeda (gr) | 133.10 | 127.92 | 126.54 | 127.60 |
| Peso del Capsula + muestra seca (gr) | 128.85 | 124.39 | 121.02 | 121.94 |
| Peso del agua (gr) | 4.25 | 3.53 | 5.52 | 5.66 |
| Peso del material seco (gr) | 74.9 | 67.2 | 60.5 | 62.7 |
| Contenido de humedad (gr) | 5.68% | 5.25% | 9.12% | 9.03% |
| % PROMEDIO | 5.46% | 9.07% | 11.28% | 15.76% |

DETERMINACION DE LA DENSIDAD

| | | | | |
|---------------------------------------|---------|---------|--|---------------|
| Contenido de Humedad % | 5.46% | 9.07% | 11.28% | 15.76% |
| Peso del suelo + Molde (gr) | 9738.2 | 9901.8 | 9969.4 | 10013.0 |
| Peso del Molde (gr) | 6463.20 | 6463.20 | 6463.20 | 6463.20 |
| Peso del suelo Húmedo (gr) | 3275.00 | 3438.60 | 3506.20 | 3549.80 |
| Densidad Húmeda (gr/cm ³) | 1.542 | 1.619 | 1.651 | 1.671 |
| Densidad seca (gr/cm ³) | 1.462 | 1.484 | 1.483 | 1.444 |
| | | | Densidad Máxima (grs/cm ³) | 1.486 |
| | | | Humedad Optima% | 10.03% |



Fuente: Elaboración propia

Anexo B-4.1.4: CBR M4 (2)

Ensayo: VALOR DE SOPORTE RELATIVO (C.B.R) "Compactacion y Penetracion"

| | |
|------------|---|
| Tesis: | "Evaluación de los residuos reciclados de las ladrilleras de San Jerónimo, para la aplicación en sub base de pavimentos, en la ciudad del Cusco - 2018" |
| Tesistas: | Bach. Acuña Obregon Julie Teresa, Bach. Rumaja Santos Marc. |
| Ubicación: | Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil |
| Fecha: | 03/09/2018 |
| Muestra: | M4-C (Ladrillo Coccionado) |

Humedad Optima (%): **10.03%**

Densidad. Seca Maxima **1.486** gr/cm³

COMPACTACIÓN

| Molde N° | Uno | Dos | Tres |
|--|--------------|--------------|----------------|
| N° de golpes por capa | 12 | 25 | 56 |
| CONDICIONES DE LA MUESTRA | 3000 | 3000 | 3000 |
| Peso del molde + suelo húmedo (grs) | 10742.50 | 10896.00 | 10770.40 |
| Peso del molde (gramos) | 6841.80 | 6737.40 | 6691.30 |
| Peso del suelo húmedo (grs.) | 3900.70 | 4158.60 | 4079.10 |
| Volumen del molde (cm ³) | 2200.84 | 2316.67 | 2200.84 |
| Densidad húmeda (grs./cm ³) | 1.77 | 1.80 | 1.85 |
| Densidad seca (grs./cm³) | 1.45 | 1.46 | 1.48692 |
| Capsula N° | Uno | Dos | Tres |
| Peso de la Capsula + suelo húmedo (grs.) | 119.92 | 108.59 | 118.18 |
| Peso de la Capsula + suelo seco (grs.) | 108.87 | 99.30 | 106.06 |
| Peso del agua (grs.) | 11.05 | 9.29 | 12.12 |
| Peso de la Capsula (grs.) | 58.48 | 58.18 | 56.89 |
| Peso del suelo seco (grs.) | 50.39 | 41.12 | 49.17 |
| Contenido de Humedad (%) | 21.93 | 22.59 | 24.65 |

PENETRACIÓN

| PENETRACIÓN (plg) | MOLDE N°01-N° de Golpes 12 | | | MOLDE N°02-N° de Golpes 26 | | | MOLDE N°03- N° de Golpes 55 | | |
|-------------------|----------------------------|----------------|---------------------------------------|----------------------------|----------------|---------------------------------------|-----------------------------|----------------|---------------------------------------|
| | LECTURA (DIAL) | Carga (Libras) | Es fuerzo (Libras./plg ²) | LECTURA (DIAL) | Carga (Libras) | Es fuerzo (Libras./plg ²) | LECTURA (DIAL) | Carga (Libras) | Es fuerzo (Libras./plg ²) |
| 0.000 | 0.00 | 0.0 | 0.00 | 0.00 | 0.0 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 0.025 | 11.00 | 104.0 | 66.86 | 18.00 | 171.2 | 57.06 | 19.00 | 180.79 | 85.11 |
| 0.050 | 21.00 | 200.0 | 124.24 | 38.50 | 367.9 | 122.64 | 39.00 | 372.70 | 217.28 |
| 0.075 | 36.50 | 348.7 | 180.78 | 56.00 | 535.7 | 178.56 | 63.00 | 602.72 | 346.62 |
| 0.100 | 55.50 | 530.9 | 236.47 | 84.00 | 803.7 | 267.91 | 93.50 | 894.60 | 473.14 |
| 0.125 | 74.00 | 708.0 | 291.30 | 90.50 | 865.9 | 288.64 | 128.00 | 1224.18 | 596.84 |
| 0.150 | 93.00 | 889.8 | 345.29 | 111.00 | 1061.9 | 353.95 | 167.50 | 1600.75 | 717.71 |
| 0.200 | 126.00 | 1205.1 | 450.72 | 151.00 | 1443.5 | 481.18 | 245.50 | 2341.99 | 950.99 |
| 0.300 | 186.50 | 1781.6 | 651.37 | 228.50 | 2180.7 | 726.90 | 397.50 | 3777.55 | 1383.69 |
| 0.400 | 245.50 | 2342.0 | 838.44 | 301.00 | 2867.5 | 955.84 | 535.50 | 5070.90 | 1771.22 |
| 0.500 | 302.50 | 2881.7 | 1011.91 | 368.00 | 3499.9 | 1166.62 | 645.00 | 6090.50 | 2113.60 |
| 0.600 | 358.50 | 3410.3 | 1171.79 | 434.00 | 4120.6 | 1373.52 | 729.50 | 6873.38 | 2410.82 |

Fuente: Elaboración propia

Anexo B-4.1.4: CBR M4 (3)

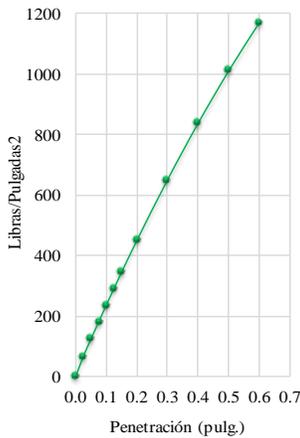
Ensayo: VALOR DE SOPORTE RELATIVO (C.B.R) "Graficos"

| | |
|------------|---|
| Tesis: | "Evaluación de los residuos reciclados de las ladrilleras de San Jerónimo, para la aplicación en sub base de pavimentos, en la ciudad del Cusco - 2018" |
| Tesistas: | Bach. Acuña Obregon Julie Teresa, Bach. Rumaja Santos Marc. |
| Ubicación: | Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil |
| Fecha: | 03/09/2018 |
| Muestra: | M4-C (Ladrillo Coccionado) |

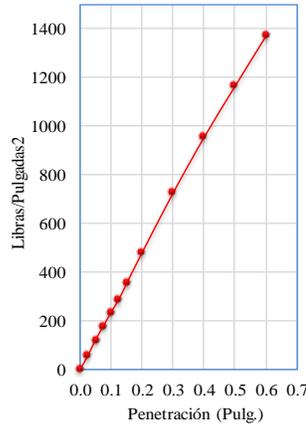
Humedad Optima (%): **10.03%**

Densidad. Seca Maxima **1.486** gr/cm3

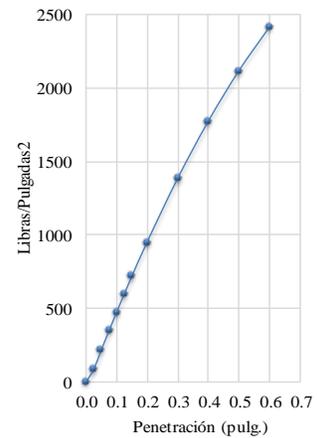
12 Golpes



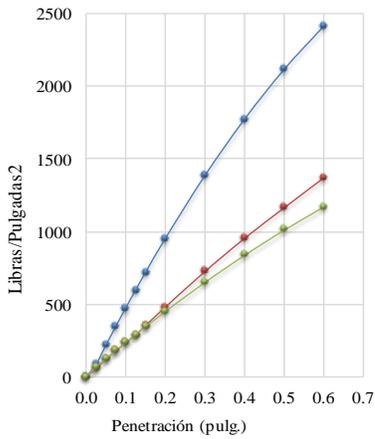
26 Golpes



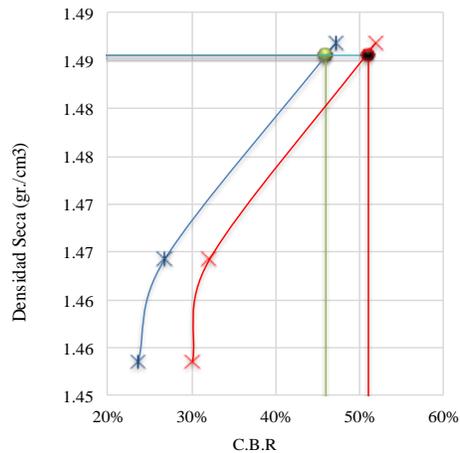
55 Golpes



Esfuerzo vs Deformación



Curva CBR. 0.1" y 0.2"



● 55 Golpes ● 26 Golpes ● 12 Golpes

* CBR"0.1" * CBR "0.2"

| Densidad Seca.(gr/cm3) | CBR-"0.1" | CBR-0.2" |
|-------------------------------------|---------------|--------------|
| 1.454 | 23.65% | 26.78% |
| 1.464 | 26.79% | 32.08% |
| 1.487 | 47.31% | 52.04% |
| Maxima densidad seca(gr/cm3) | | |
| 1.486 | 46.00% | 51.1% |

Fuente: Elaboración propia

Anexo B-4.1.5: CBR - COMPROBACIÓN (1)

Ensayo: VALOR DE SOPORTE RELATIVO (C.B.R) "Compactacion y Penetracion"

| | |
|------------|---|
| Tesis: | "Evaluación de los residuos reciclados de las ladrilleras de San Jerónimo, para la aplicación en sub base de pavimentos, en la ciudad del Cusco - 2018" |
| Tesistas: | Bach. Acuña Obregon Julie Teresa, Bach. Rumaja Santos Marc. |
| Ubicación: | Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil |
| Fecha: | 24/09/2018 |
| Muestra: | Comprobació (Residuo de Ladrillo Coccionado) |

Humedad Optima (%): **10.43%**

Densidad. Seca Maxima **1.484** gr/cm3

COMPACTACIÓN

| Molde N° | Uno | Dos | Tres |
|--|--------------|--------------|----------------|
| N° de golpes por capa | 12 | 25 | 56 |
| CONDICIONES DE LA MUESTRA | 3000 | 3000 | 3000 |
| Peso del molde + suelo húmedo (grs) | 11310.80 | 11480.90 | 11562.50 |
| Peso del molde (gramos) | 7111.70 | 7169.70 | 7153.50 |
| Peso del suelo húmedo (grs.) | 4199.10 | 4311.20 | 4409.00 |
| Volumen del molde (cm3) | 2316.67 | 2316.67 | 2316.67 |
| Densidad húmeda (grs./cm3) | 1.81 | 1.86 | 1.90 |
| Densidad seca (grs./cm3) | 1.45 | 1.47 | 1.48872 |
| Capsula N° | Uno | Dos | Tres |
| Peso de la Capsula + suelo húmedo (grs.) | 121.93 | 114.03 | 114.14 |
| Peso de la Capsula + suelo seco (grs.) | 108.21 | 102.51 | 102.20 |
| Peso del agua (grs.) | 13.72 | 11.52 | 11.94 |
| Peso de la Capsula (grs.) | 53.97 | 59.22 | 59.31 |
| Peso del suelo seco (grs.) | 54.24 | 43.29 | 42.89 |
| Contenido de Humedad (%) | 25.29 | 26.61 | 27.84 |

PENETRACIÓN

| PENETRACIÓN (plg) | MOLDE N°01- N° de Golpes 12 | | | MOLDE N°02- N° de Golpes 26 | | | MOLDE N°03- N° de Golpes 55 | | |
|-------------------|-----------------------------|----------------|--------------------------|-----------------------------|----------------|--------------------------|-----------------------------|----------------|--------------------------|
| | LECTURA (DIAL) | Carga (Libras) | Es fuerza (Libras /plg2) | LECTURA (DIAL) | Carga (Libras) | Es fuerza (Libras /plg2) | LECTURA (DIAL) | Carga (Libras) | Es fuerza (Libras /plg2) |
| 0.000 | 0.00 | 0.0 | 0.00 | 0.00 | 0.0 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 0.025 | 6.00 | 55.9 | 67.16 | 26.00 | 248.0 | 82.66 | 14.00 | 132.78 | 60.45 |
| 0.050 | 16.00 | 152.0 | 124.55 | 45.00 | 430.2 | 143.41 | 34.00 | 324.75 | 187.05 |
| 0.075 | 31.50 | 300.8 | 181.10 | 62.50 | 597.9 | 199.31 | 58.00 | 554.83 | 311.40 |
| 0.100 | 50.50 | 483.0 | 236.80 | 81.00 | 775.0 | 258.35 | 88.50 | 846.79 | 433.52 |
| 0.125 | 69.00 | 660.2 | 291.67 | 101.00 | 966.3 | 322.10 | 123.00 | 1176.45 | 553.39 |
| 0.150 | 88.00 | 842.0 | 345.70 | 119.00 | 1138.3 | 379.42 | 162.50 | 1553.13 | 671.03 |
| 0.200 | 121.00 | 1157.4 | 451.23 | 159.00 | 1519.8 | 506.59 | 240.50 | 2294.57 | 899.58 |
| 0.300 | 181.50 | 1734.0 | 652.22 | 236.00 | 2251.9 | 750.63 | 392.50 | 3730.52 | 1329.79 |
| 0.400 | 240.50 | 2294.6 | 839.75 | 309.00 | 2943.1 | 981.05 | 530.50 | 5024.20 | 1724.16 |
| 0.500 | 297.50 | 2834.4 | 1013.84 | 376.00 | 3575.2 | 1191.73 | 640.00 | 6044.07 | 2082.70 |
| 0.600 | 353.50 | 3363.2 | 1174.48 | 442.00 | 4195.6 | 1398.55 | 724.50 | 6827.15 | 2405.38 |

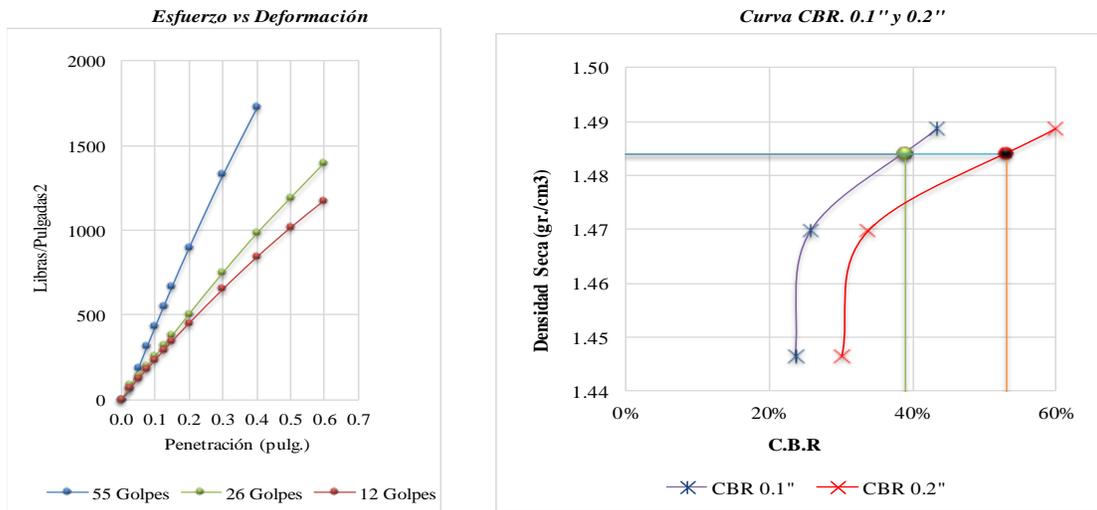
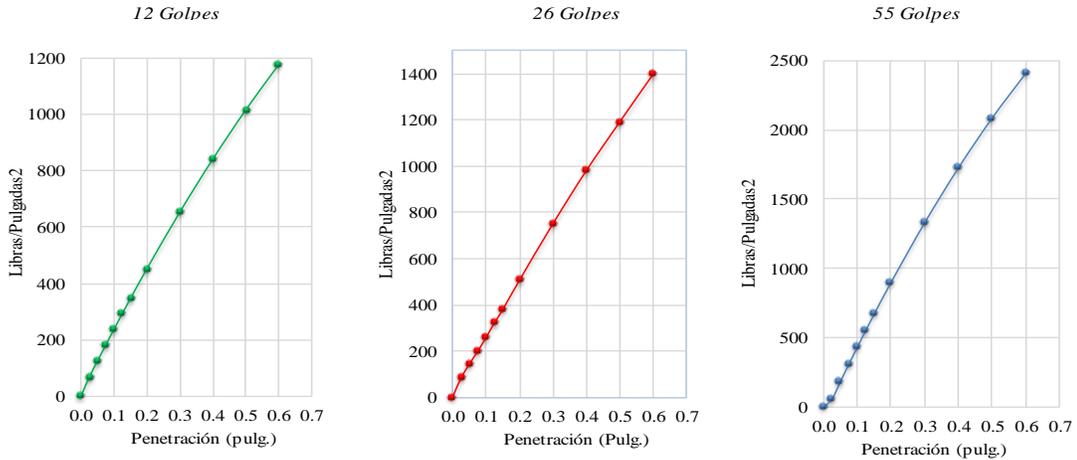
Fuente: Elaboración propia

Anexo B-4.1.5: CBR – COMPROBACIÓN (M2)

Ensayo: VALOR DE SOPORTE RELATIVO (C.B.R) "Graficos"

| | |
|------------|---|
| Tesis: | "Evaluación de los residuos reciclados de las ladrilleras de San Jerónimo, para la aplicación en sub base de pavimentos, en la ciudad del Cusco - 2018" |
| Tesistas: | Bach. Acuña Obregon Julie Teresa, Bach. Rumaja Santos Marc. |
| Ubicación: | Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil |
| Fecha: | 24/09/2018 |
| Muestra: | Comprobació (Residuo de Ladrillo Coccionado) |

Humedad Optima (%): **10.43%**
Densidad. Seca Maxima **1.484** gr/cm3



| Densidad Seca.(gr./cm3) | CBR-0.1" | CBR-0.2" |
|--------------------------------------|---------------|--------------|
| 1.447 | 23.68% | 30.08% |
| 1.470 | 25.83% | 33.77% |
| 1.489 | 43.35% | 59.97% |
| Maxima densidad seca(gr./cm3) | | |
| 1.484 | 39.00% | 53.0% |

Fuente: Elaboración propia

Anexo B-4.2: CBR "Muestra sobre coccionada"

Anexo B-4.2.1: CBR M1-SC (1)

Ensayo: PROCTOR MODIFICADO

| | |
|------------|---|
| Tesis: | "Evaluación de los residuos reciclados de las ladrilleras de San Jerónimo, para la aplicación en sub base de pavimentos, en la ciudad del Cusco - 2018" |
| Tesistas: | Bach. Acuña Obregon Julie Teresa, Bach. Rumaja Santos Marc. |
| Ubicación: | Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil |
| Fecha: | 28/08/2018 |
| Muestra: | M1-SC (Ladrillo Sobre Coccionado) |

Humedad Optima (%): **5.71%**

Densidad. Seca Maxima **1.680** gr/cm³

RELACION DENSIDAD - HUMEDAD (PROCTOR MODIFICADO) ASTM D-1557

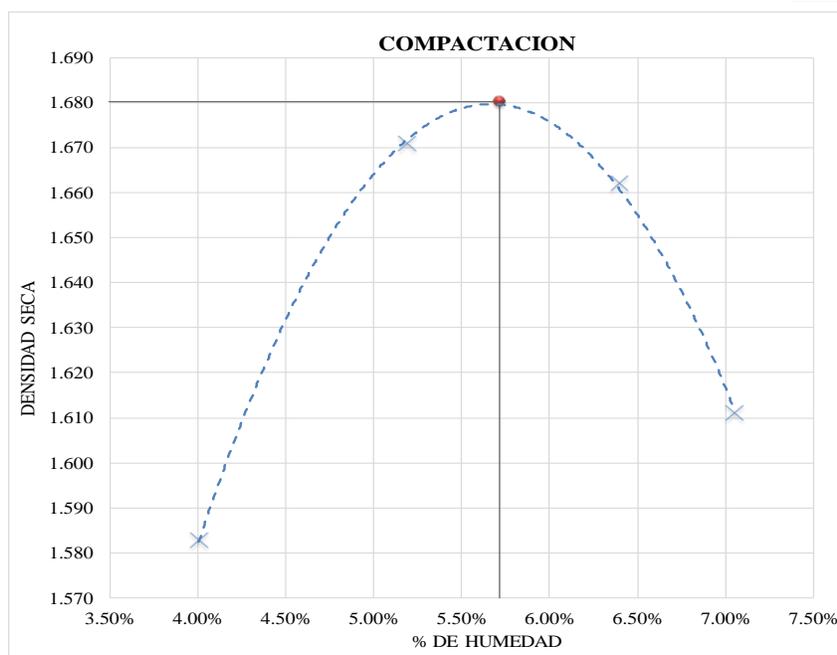
| | | | | | |
|-----------------------|----|----------------|---------|--------------------------|---------|
| Nº Golpes / capa: | 56 | Nº Capas: | 5 | Peso del Martillo: | 10 Lbs. |
| Dimensiones del Molde | | Diámetro (Cm): | 15.240 | Altura (cm): | 11.6434 |
| | | Sobrecarga: | 10 Lbs. | Vol. (cm ³): | 2123.92 |

DETERMINACION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD

| MUESTRA Nº | 1 | | 2 | | 3 | | 4 | |
|---------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Peso de la Capsula(gr) | 58.52 | 58.52 | 58.60 | 58.60 | 58.46 | 58.46 | 63.44 | 63.44 |
| Peso del Capsula + muestra húmeda(gr) | 136.97 | 136.97 | 155.30 | 155.30 | 135.66 | 135.66 | 157.86 | 157.86 |
| Peso del Capsula + muestra seca (gr) | 133.95 | 133.95 | 150.53 | 150.53 | 131.02 | 131.02 | 151.64 | 151.64 |
| Peso del agua (gr) | 3.02 | 3.02 | 4.77 | 4.77 | 4.64 | 4.64 | 6.22 | 6.22 |
| Peso del material seco (gr) | 75.4 | 75.4 | 91.9 | 91.9 | 72.6 | 72.6 | 88.2 | 88.2 |
| Contenido de humedad (gr) | 4.00% | 4.00% | 5.19% | 5.19% | 6.39% | 6.39% | 7.05% | 7.05% |
| % PROMEDIO | 4.00% | | 5.19% | | 6.39% | | 7.05% | |

DETERMINACION DE LA DENSIDAD

| | | | | |
|---------------------------------------|--|--------------|--------------|--------------|
| Contenido de Humedad % | 4.00% | 5.19% | 6.39% | 7.05% |
| Peso del suelo + Molde (gr) | 9959.4 | 10196.1 | 10219.0 | 10126.5 |
| Peso del Molde (gr) | 6463.20 | 6463.20 | 6463.20 | 6463.20 |
| Peso del suelo Húmedo (gr) | 3496.20 | 3732.90 | 3755.80 | 3663.30 |
| Densidad Húmeda (gr/cm ³) | 1.646 | 1.758 | 1.768 | 1.725 |
| Densidad seca (gr/cm ³) | 1.583 | 1.671 | 1.662 | 1.611 |
| | Densidad Máxima (grs/cm ³) | | | 1.680 |
| | Humedad Optima% | | | 5.71% |



Fuente: Elaboración propia

Anexo B-4.2.1: CBR M1-SC (2)

Ensayo: VALOR DE SOPORTE RELATIVO (C.B.R) "Compactacion y Penetracion"

| | |
|------------|---|
| Tesis: | "Evaluación de los residuos reciclados de las ladrilleras de San Jerónimo, para la aplicación en sub base de pavimentos, en la ciudad del Cusco - 2018" |
| Tesistas: | Bach. Acuña Obregon Julie Teresa, Bach. Rumaja Santos Marc. |
| Ubicación: | Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil |
| Fecha: | 04/09/2018 |
| Muestra: | M1-SC (Ladrillo Sobre Coccionado) |

Humedad Optima (%): **5.71%**

Densidad. Seca Maxima **1.680** gr/cm³

COMPACTACIÓN

| Molde N° | Uno | Dos | Tres |
|--|-------------|-------------|----------------|
| N° de golpes por capa | 12 | 25 | 56 |
| CONDICIONES DE LA MUESTRA | 3000 | 3000 | 3000 |
| Peso del Molde + suelo húmedo (grs) | 10420.60 | 10979.10 | 10851.80 |
| Peso del molde (gramos) | 6841.80 | 7113.00 | 6854.80 |
| Peso del suelo húmedo (grs.) | 3578.80 | 3866.10 | 3997.00 |
| Volumen del molde (cm ³) | 2200.84 | 2200.84 | 2200.84 |
| Densidad húmeda (grs./cm ³) | 1.63 | 1.76 | 1.82 |
| Densidad seca (grs./cm³) | 1.52 | 1.64 | 1.68927 |
| Capsula N° | Uno | Dos | Tres |
| Peso de la Capsula + suelo húmedo (grs.) | 133.37 | 145.48 | 131.85 |
| Peso de la Capsula + suelo seco (grs.) | 128.44 | 139.83 | 126.88 |
| Peso del agua (grs.) | 4.93 | 5.65 | 4.97 |
| Peso de la Capsula (grs.) | 57.77 | 59.24 | 60.70 |
| Peso del suelo seco (grs.) | 70.67 | 80.59 | 66.18 |
| Contenido de Humedad (%) | 6.98 | 7.01 | 7.51 |

PENETRACIÓN

| PENETRACIÓN (plg) | MOLDE N°01-N° de Golpes 12 | | | MOLDE N°02-N° de Golpes 26 | | | MOLDE N°03- N° de Golpes 55 | | |
|-------------------|----------------------------|----------------|---------------------------------------|----------------------------|----------------|---------------------------------------|-----------------------------|----------------|---------------------------------------|
| | LECTURA (DIAL) | Carga (Libras) | Es fuerza (Libras /plg ²) | LECTURA (DIAL) | Carga (Libras) | Es fuerza (Libras /plg ²) | LECTURA (DIAL) | Carga (Libras) | Es fuerza (Libras /plg ²) |
| 0.000 | 0.00 | 0.0 | 0.00 | 0.00 | 0.0 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 0.025 | 5.00 | 46.3 | 50.41 | 8.00 | 75.1 | 53.34 | 12.00 | 7958.02 | 71.76 |
| 0.050 | 17.00 | 161.6 | 102.11 | 22.00 | 209.6 | 129.83 | 31.00 | 295.96 | 248.23 |
| 0.075 | 33.00 | 315.2 | 153.53 | 41.00 | 391.9 | 205.23 | 60.00 | 573.99 | 418.62 |
| 0.100 | 48.00 | 459.0 | 204.67 | 65.00 | 621.9 | 279.52 | 118.00 | 1128.71 | 582.92 |
| 0.125 | 64.00 | 612.3 | 255.53 | 87.00 | 832.4 | 352.71 | 177.00 | 1691.20 | 741.14 |
| 0.150 | 81.00 | 775.0 | 306.11 | 111.00 | 1061.9 | 424.80 | 232.00 | 2213.92 | 893.27 |
| 0.200 | 112.00 | 1071.4 | 406.42 | 155.00 | 1481.7 | 565.69 | 328.00 | 3122.61 | 1179.29 |
| 0.300 | 179.00 | 1710.2 | 603.69 | 252.00 | 2403.6 | 834.28 | 493.00 | 4673.58 | 1678.32 |
| 0.400 | 236.00 | 2251.9 | 796.47 | 329.00 | 3132.1 | 1085.28 | 643.00 | 6071.93 | 2080.01 |
| 0.500 | 292.00 | 2782.4 | 984.77 | 401.00 | 3810.5 | 1318.69 | 775.00 | 7293.53 | 2384.36 |
| 0.600 | 357.00 | 3396.2 | 1168.58 | 469.00 | 4448.8 | 1534.51 | 788.00 | 7413.39 | 2591.37 |

Fuente: Elaboración propia

Anexo B-4.2.1: CBR MI-SC (3)

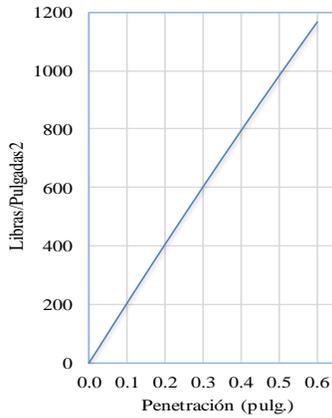
Ensayo: VALOR DE SOPORTE RELATIVO (C.B.R) "Graficos "

| | |
|------------|---|
| Tesis: | "Evaluación de los residuos reciclados de las ladrilleras de San Jerónimo, para la aplicación en sub base de pavimentos, en la ciudad del Cusco - 2018" |
| Tesistas: | Bach. Acuña Obregon Julie Teresa, Bach. Rumaja Santos Marc. |
| Ubicación: | Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil |
| Fecha: | 04/09/2018 |
| Muestra: | MI-SC (Ladrillo Coccionado) |

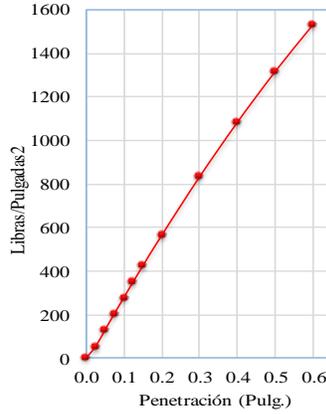
Humedad Optima (%): 5.71%

Densidad. Seca Maxima 1.680 gr/cm3

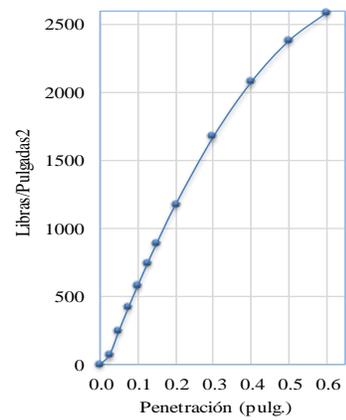
12 Golpes



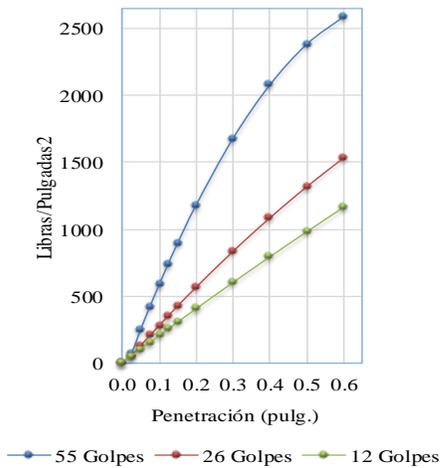
26 Golpes



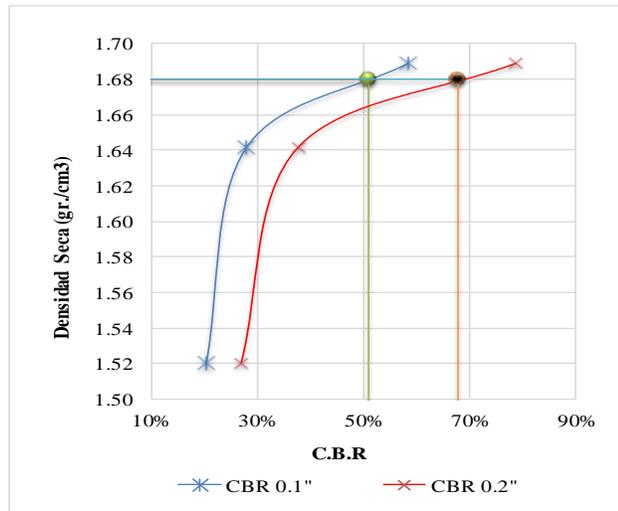
55 Golpes



Esfuerzo vs Deformación



Curva CBR. 0.1" y 0.2"



| Densidad Seca.(gr./cm3) | CBR-0.1" | CBR-0.2" |
|--------------------------------------|--------------|---------------|
| 1.52 | 20.5% | 27.1% |
| 1.64 | 28.0% | 37.7% |
| 1.69 | 58.3% | 78.6% |
| Maxima densidad seca(gr./cm3) | | |
| 1.68 | 51.0% | 67.84% |

Fuente: Elaboración propia

Anexo B-4.2.2: CBR M2-SC (1)

Ensayo: PROCTOR MODIFICADO

| | |
|------------|---|
| Tesis: | "Evaluación de los residuos reciclados de las ladrilleras de San Jerónimo, para la aplicación en sub base de pavimentos, en la ciudad del Cusco - 2018" |
| Tesistas: | Bach. Acuña Obregon Julie Teresa, Bach. Rumaja Santos Marc. |
| Ubicación: | Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil |
| Fecha: | 28/08/2018 |
| Muestra: | M2-SC (Ladrillo Sobre Coccionado) |

| | | | | |
|---------------------|--------------|-----------------------|--------------|--------------------|
| Humedad Optima (%): | 5.75% | Densidad. Seca Maxima | 1.709 | gr/cm ³ |
|---------------------|--------------|-----------------------|--------------|--------------------|

RELACION DENSIDAD - HUMEDAD (PROCTOR MODIFICADO) ASTM D-1557

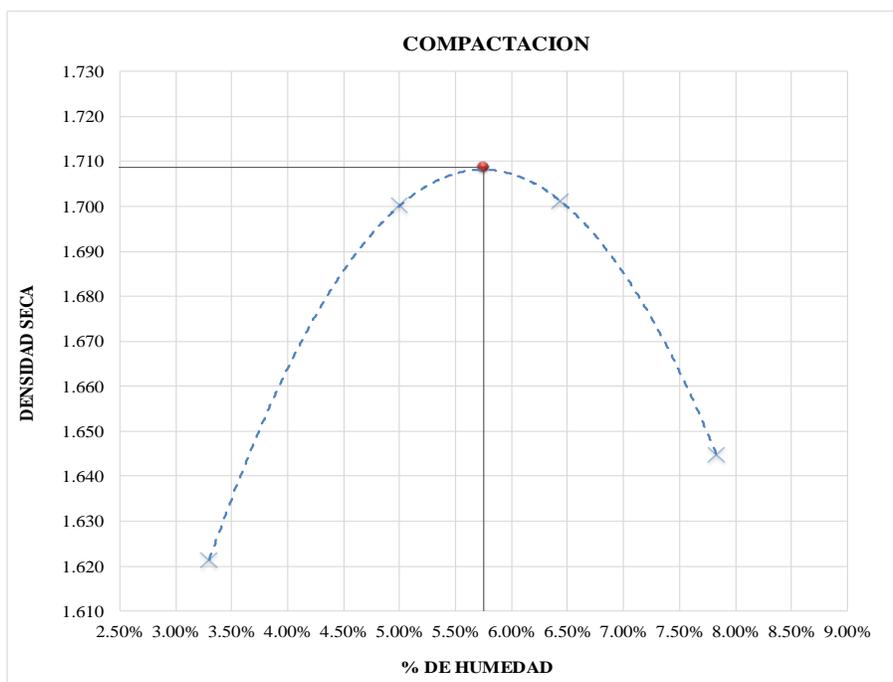
| | | | | | |
|-----------------------|-----------------------|--------------|---------|--------------------------|---------|
| Nº Golpes / capa: | 56 | Nº Capas: | 5 | Peso del Martillo: | 10 Lbs. |
| Dimensiones del Molde | Diámetro (Cm): 15.240 | Altura (cm): | 11.6434 | Vol. (cm ³): | 2123.92 |
| | Sobrecarga: | 10 Lbs. | | | |

DETERMINACION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD

| MUESTRA Nº | 1 | | 2 | | 3 | | 4 | |
|---------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Peso de la Capsula(gr) | 57.25 | 57.25 | 59.05 | 59.05 | 64.27 | 64.27 | 62.13 | 62.13 |
| Peso del Capsula + muestra húmeda(gr) | 121.44 | 121.44 | 138.52 | 138.52 | 130.14 | 130.14 | 136.21 | 136.21 |
| Peso del Capsula + muestra seca (gr) | 119.39 | 119.39 | 134.74 | 134.74 | 126.16 | 126.16 | 130.83 | 130.83 |
| Peso del agua (gr) | 2.05 | 2.05 | 3.78 | 3.78 | 3.98 | 3.98 | 5.38 | 5.38 |
| Peso del material seco (gr) | 62.1 | 62.1 | 75.7 | 75.7 | 61.9 | 61.9 | 68.7 | 68.7 |
| Contenido de humedad (gr) | 3.30% | 3.30% | 4.99% | 4.99% | 6.43% | 6.43% | 7.83% | 7.83% |
| % PROMEDIO | 3.30% | | 4.99% | | 6.43% | | 7.83% | |

DETERMINACION DE LA DENSIDAD

| | | | | |
|---------------------------------------|--------------|--------------|--|--------------|
| Contenido de Humedad % | 3.30% | 4.99% | 6.43% | 7.83% |
| Peso del suelo +Molde (gr) | 10020.6 | 10254.7 | 10308.6 | 10230.4 |
| Peso del Molde (gr) | 6463.20 | 6463.20 | 6463.20 | 6463.20 |
| Peso del suelo Húmedo (gr) | 3557.40 | 3791.50 | 3845.40 | 3767.20 |
| Densidad Húmeda (gr/cm ³) | 1.675 | 1.785 | 1.811 | 1.774 |
| Densidad seca (gr/cm ³) | 1.621 | 1.700 | 1.701 | 1.645 |
| | | | Densidad Máxima (grs/cm ³) | 1.709 |
| | | | Humedad Optima% | 5.75% |



Fuente: Elaboración propia

Anexo B-4.2.2: CBR M2-SC (2)

Ensayo: VALOR DE SOPORTE RELATIVO (C.B.R) "Compactacion y Penetracion"

| | |
|------------|---|
| Tesis: | "Evaluación de los residuos reciclados de las ladrilleras de San Jerónimo, para la aplicación en sub base de pavimentos, en la ciudad del Cusco - 2018" |
| Tesistas: | Bach. Acuña Obregon Julie Teresa, Bach. Rumaja Santos Marc. |
| Ubicación: | Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil |
| Fecha: | 04/09/2018 |
| Muestra: | M2-SC (Ladrillo Sobre Coccionado) |

Humedad Optima (%): **5.75%**

Densidad. Seca Maxima **1.709** gr/cm³

COMPACTACIÓN

| Molde N° | Uno | Dos | Tres |
|--|-------------|-------------|----------------|
| N° de golpes por capa | 12 | 25 | 56 |
| CONDICIONES DE LA MUESTRA | 3000 | 3000 | 3000 |
| Peso del Molde + suelo húmedo (grs) | 9495.80 | 10701.90 | 11273.80 |
| Peso del molde (gramos) | 5774.20 | 6774.50 | 7167.60 |
| Peso del suelo húmedo (grs.) | 3721.60 | 3927.40 | 4106.20 |
| Volumen del molde (cm ³) | 2200.84 | 2200.84 | 2200.84 |
| Densidad húmeda (grs./cm ³) | 1.69 | 1.78 | 1.87 |
| Densidad seca (grs./cm³) | 1.58 | 1.66 | 1.73456 |
| Capsula N° | Uno | Dos | Tres |
| Peso de la Capsula + suelo húmedo (grs.) | 161.06 | 128.30 | 149.86 |
| Peso de la Capsula + suelo seco (grs.) | 154.26 | 123.43 | 143.84 |
| Peso del agua (grs.) | 6.80 | 4.87 | 6.02 |
| Peso de la Capsula (grs.) | 59.64 | 58.18 | 64.24 |
| Peso del suelo seco (grs.) | 94.62 | 65.25 | 79.60 |
| Contenido de Humedad (%) | 7.19 | 7.46 | 7.56 |

PENETRACIÓN

| PENETRACIÓN (plg) | MOLDE N°01-N° de Golpes 12 | | | MOLDE N°02-N° de Golpes 26 | | | MOLDE N°03- N° de Golpes 55 | | |
|-------------------|----------------------------|----------------|---------------------------------------|----------------------------|----------------|---------------------------------------|-----------------------------|----------------|---------------------------------------|
| | LECTURA (DIAL) | Carga (Libras) | Es fuerzo (Libras /plg ²) | LECTURA (DIAL) | Carga (Libras) | Es fuerzo (Libras /plg ²) | LECTURA (DIAL) | Carga (Libras) | Es fuerzo (Libras /plg ²) |
| 0.000 | 0.00 | 0.0 | 0.00 | 0.00 | 0.0 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 0.025 | 8.00 | 75.1 | 56.49 | 12.00 | 113.6 | 71.51 | 18.00 | 171.19 | 149.85 |
| 0.050 | 22.00 | 209.6 | 109.61 | 29.00 | 276.8 | 147.78 | 38.00 | 363.11 | 340.13 |
| 0.075 | 39.00 | 372.7 | 162.39 | 52.00 | 497.3 | 223.21 | 71.00 | 679.33 | 522.81 |
| 0.100 | 57.00 | 545.2 | 214.82 | 76.00 | 727.2 | 297.80 | 121.00 | 1157.36 | 697.89 |
| 0.125 | 71.00 | 679.3 | 266.90 | 96.00 | 918.5 | 371.56 | 185.00 | 1767.33 | 865.37 |
| 0.150 | 90.00 | 861.1 | 318.64 | 122.00 | 1166.9 | 444.47 | 240.00 | 2289.83 | 1025.25 |
| 0.200 | 120.00 | 1147.8 | 421.06 | 167.00 | 1596.0 | 587.80 | 340.00 | 3235.87 | 1322.20 |
| 0.300 | 187.00 | 1786.4 | 621.74 | 261.00 | 2488.9 | 864.41 | 514.00 | 4870.01 | 1824.89 |
| 0.400 | 245.00 | 2337.2 | 816.85 | 338.00 | 3217.0 | 1127.63 | 657.00 | 6201.89 | 2205.96 |
| 0.500 | 302.00 | 2877.0 | 1006.39 | 421.00 | 3998.5 | 1377.45 | 786.00 | 7394.95 | 2465.42 |
| 0.600 | 368.00 | 3499.9 | 1190.37 | 497.00 | 4711.0 | 1613.89 | 801.00 | 7533.17 | 2603.26 |

Fuente: Elaboración propia

Anexo B-4.2.2: CBR M2-SC (3)

Ensayo: VALOR DE SOPORTE RELATIVO (C.B.R) "Graficos "

| | |
|------------|---|
| Tesis: | "Evaluación de los residuos reciclados de las ladrilleras de San Jerónimo, para la aplicación en sub base de pavimentos, en la ciudad del Cusco - 2018" |
| Tesistas: | Bach. Acuña Obregon Julie Teresa, Bach. Rumaja Santos Marc. |
| Ubicación: | Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil |
| Fecha: | 04/09/2018 |
| Muestra: | M2-SC (Ladrillo Sobre Coccionado) |

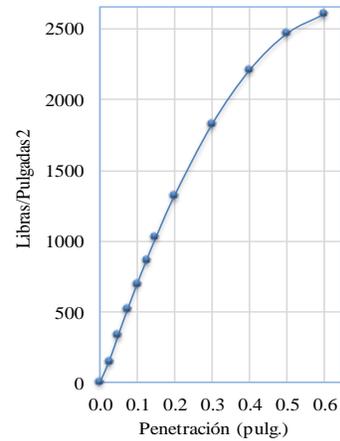
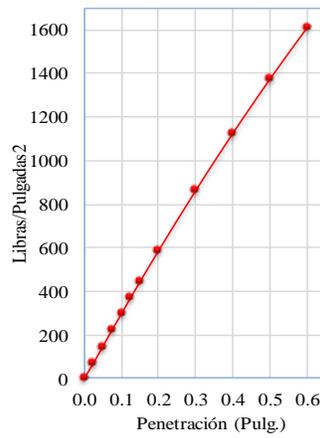
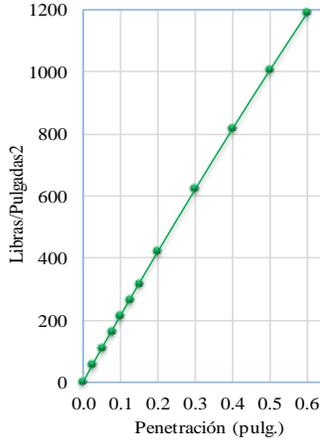
Humedad Optima (%): **5.75%**

Densidad. Seca Maxima **1.709** gr/cm3

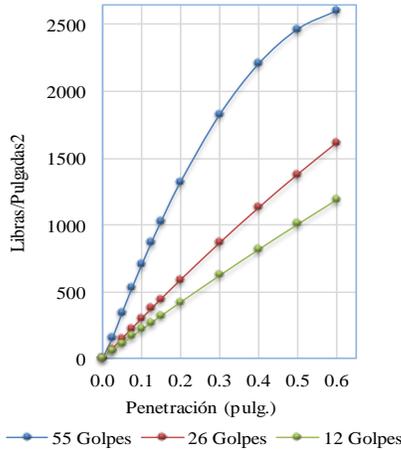
12 Golpes

26 Golpes

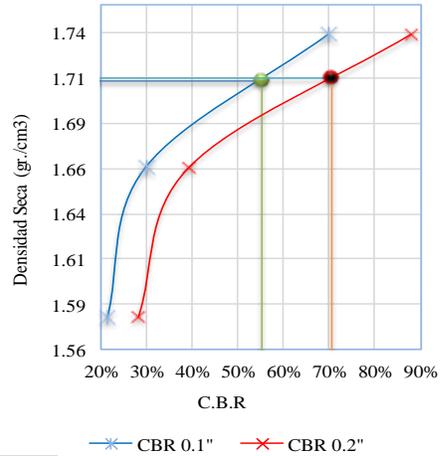
55 Golpes



Esfuerzo vs Deformación



Curva CBR. 0.1" y 0.2"



| Densidad Seca.(gr./cm3) | CBR-0.1" | CBR-0.2" |
|--------------------------------------|---------------|--------------|
| 1.58 | 21.48% | 28.07% |
| 1.66 | 29.78% | 39.19% |
| 1.73 | 69.79% | 88.15% |
| Maxima densidad seca(gr./cm3) | | |
| 1.71 | 55.23% | 70.5% |

Fuente: Elaboración propia

Anexo C-4.2.3: CBR M3-SC (1)

Ensayo: PROCTOR MODIFICADO

| | |
|------------|---|
| Tesis: | "Evaluación de los residuos reciclados de las ladrilleras de San Jerónimo, para la aplicación en sub base de pavimentos, en la ciudad del Cusco - 2018" |
| Tesistas: | Bach. Acuña Obregon Julie Teresa, Bach. Rumaja Santos Marc. |
| Ubicación: | Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil |
| Fecha: | 28/08/2018 |
| Muestra: | M3-SC (Ladrillo Sobre Coccionado) |

| | | | |
|---------------------|--------------|-----------------------|---------------------|
| Humedad Optima (%): | 5.29% | Densidad. Seca Maxima | 1.576 gr/cm3 |
|---------------------|--------------|-----------------------|---------------------|

RELACION DENSIDAD - HUMEDAD (PROCTOR MODIFICADO) ASTM D-1557

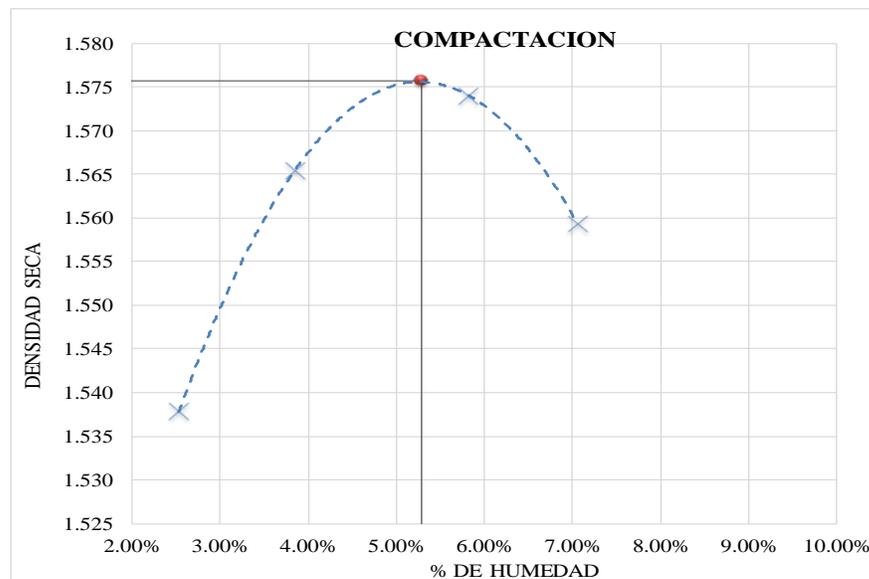
| | | | | | |
|-----------------------|-----------------------|--------------|---------|--------------------|---------|
| N° Golpes / capa: | 56 | N° Capas: | 5 | Peso del Martillo: | 10 Lbs. |
| Dimensiones del Molde | Diámetro (Cm): 15.240 | Altura (cm): | 11.6434 | Vol. (cm3): | 2123.92 |
| | Sobrecarga: | 10 Lbs. | | | |

DETERMINACION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD

| MUESTRA N° | 1 | | 2 | | 3 | | 4 | |
|---------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Peso de la Capsula(gr) | 63.72 | 63.72 | 57.27 | 57.27 | 56.98 | 56.98 | 58.71 | 58.71 |
| Peso del Capsula + muestra húmeda(gr) | 137.90 | 137.90 | 126.01 | 126.01 | 126.30 | 126.30 | 123.50 | 123.50 |
| Peso del Capsula + muestra seca (gr) | 136.07 | 136.07 | 123.46 | 123.46 | 122.48 | 122.48 | 119.23 | 119.23 |
| Peso del agua (gr) | 1.83 | 1.83 | 2.55 | 2.55 | 3.82 | 3.82 | 4.27 | 4.27 |
| Peso del material seco (gr) | 72.4 | 72.4 | 66.2 | 66.2 | 65.5 | 65.5 | 60.5 | 60.5 |
| Contenido de humedad (gr) | 2.53% | 2.53% | 3.85% | 3.85% | 5.83% | 5.83% | 7.06% | 7.06% |
| % PROMEDIO | 2.53% | | 3.85% | | 5.83% | | 7.06% | |

DETERMINACION DE LA DENSIDAD

| | | | | |
|----------------------------|--------------|--------------|---------------------------|--------------|
| Contenido de Humedad % | 2.53% | 3.85% | 5.83% | 7.06% |
| Peso del suelo +Molde (gr) | 9812.0 | 9916.2 | 10001.3 | 10008.9 |
| Peso del Molde (gr) | 6463.20 | 6463.20 | 6463.20 | 6463.20 |
| Peso del suelo Húmedo (gr) | 3348.80 | 3453.00 | 3538.10 | 3545.70 |
| Densidad Húmeda (gr/cm3) | 1.577 | 1.626 | 1.666 | 1.669 |
| Densidad seca (gr/cm3) | 1.538 | 1.565 | 1.574 | 1.559 |
| | | | Densidad Máxima (grs/cm3) | 1.576 |
| | | | Humedad Optima% | 5.29% |



Fuente: Elaboración propia

Anexo B-4.2.3: CBR M2-SC (2)

Ensayo: VALOR DE SOPORTE RELATIVO (C.B.R) "Compactacion y Penetracion"

| | |
|------------|---|
| Tesis: | "Evaluación de los residuos reciclados de las ladrilleras de San Jerónimo, para la aplicación en sub base de pavimentos, en la ciudad del Cusco - 2018" |
| Tesistas: | Bach. Acuña Obregon Julie Teresa, Bach. Rumaja Santos Marc. |
| Ubicación: | Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil |
| Fecha: | 04/09/2018 |
| Muestra: | M3-SC (Ladrillo Sobre Coccionado) |

Humedad Optima (%): **5.29%**

Densidad. Seca Maxima **1.576** gr/cm³

COMPACTACIÓN

| Molde N° | Uno | Dos | Tres |
|--|-------------|-------------|----------------|
| N° de golpes por capa | 12 | 25 | 56 |
| CONDICIONES DE LA MUESTRA | 3000 | 3000 | 3000 |
| Peso del Molde + suelo húmedo (grs) | 10784.80 | 10636.80 | 10998.40 |
| Peso del molde (grs) | 7004.20 | 6785.20 | 7023.00 |
| Peso del suelo húmedo (grs.) | 3780.60 | 3851.60 | 3975.40 |
| Volumen del molde (cm ³) | 2316.67 | 2316.67 | 2316.67 |
| Densidad húmeda (grs./cm ³) | 1.63 | 1.66 | 1.72 |
| Densidad seca (grs./cm³) | 1.52 | 1.55 | 1.59738 |
| Capsula N° | Uno | Dos | Tres |
| Peso de la Capsula + suelo húmedo (grs.) | 131.73 | 122.30 | 124.65 |
| Peso de la Capsula + suelo seco (grs.) | 126.80 | 118.07 | 119.98 |
| Peso del agua (grs.) | 4.93 | 4.23 | 4.67 |
| Peso de la Capsula (grs.) | 60.48 | 62.12 | 57.09 |
| Peso del suelo seco (grs.) | 66.32 | 55.95 | 62.89 |
| Contenido de Humedad (%) | 7.43 | 7.56 | 7.43 |

PENETRACIÓN

| PENETRACIÓN (plg) | MOLDE N°01-N° de Golpes 12 | | | MOLDE N°02-N° de Golpes 26 | | | MOLDE N°03- N° de Golpes 55 | | |
|-------------------|----------------------------|----------------|---------------------------------------|----------------------------|----------------|---------------------------------------|-----------------------------|----------------|---------------------------------------|
| | LECTURA (DIAL) | Carga (Libras) | Es fuerza (Libras./plg ²) | LECTURA (DIAL) | Carga (Libras) | Es fuerza (Libras./plg ²) | LECTURA (DIAL) | Carga (Libras) | Es fuerza (Libras./plg ²) |
| 0.000 | 0.00 | 0.0 | 0.00 | 0.00 | 0.0 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 0.025 | 4.00 | 36.7 | 53.52 | 7.00 | 65.5 | 46.78 | 11.00 | 103.96 | 184.22 |
| 0.050 | 15.00 | 142.4 | 101.66 | 18.00 | 171.2 | 121.08 | 27.00 | 257.58 | 369.06 |
| 0.075 | 28.00 | 267.2 | 149.82 | 35.00 | 334.3 | 194.39 | 53.00 | 506.92 | 546.45 |
| 0.100 | 44.00 | 420.7 | 197.98 | 59.00 | 564.4 | 266.70 | 111.00 | 1061.86 | 716.39 |
| 0.125 | 59.00 | 564.4 | 246.14 | 81.00 | 775.0 | 338.02 | 169.00 | 1615.03 | 878.87 |
| 0.150 | 76.00 | 727.2 | 294.31 | 103.00 | 985.4 | 408.35 | 224.00 | 2137.99 | 1033.91 |
| 0.200 | 99.00 | 947.2 | 390.66 | 146.00 | 1395.9 | 546.02 | 316.00 | 3009.28 | 1321.62 |
| 0.300 | 167.00 | 1596.0 | 583.44 | 243.00 | 2318.3 | 809.47 | 480.00 | 4551.88 | 1807.62 |
| 0.400 | 228.00 | 2176.0 | 776.29 | 316.00 | 3009.3 | 1057.03 | 634.00 | 5988.34 | 2174.39 |
| 0.500 | 278.00 | 2649.9 | 969.23 | 395.00 | 3754.0 | 1288.71 | 766.00 | 7210.50 | 2421.92 |
| 0.600 | 351.00 | 3339.6 | 1162.3 | 455.0 | 4317.6 | 1504.5 | 780.0 | 7339.6 | 2550.2 |

Fuente: Elaboración propia

Anexo B-4.2.3: CBR M2-SC (3)

Ensayo: VALOR DE SOPORTE RELATIVO (C.B.R) "Graficos "

| | |
|------------|---|
| Tesis: | "Evaluación de los residuos reciclados de las ladrilleras de San Jerónimo, para la aplicación en sub base de pavimentos, en la ciudad del Cusco - 2018" |
| Tesistas: | Bach. Acuña Obregon Julie Teresa, Bach. Rumaja Santos Marc. |
| Ubicación: | Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil |
| Fecha: | 04/09/2018 |
| Muestra: | M3-SC (Ladrillo Sobre Coccionado) |

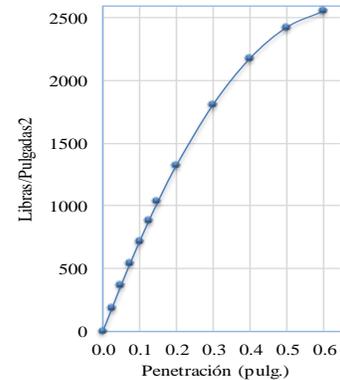
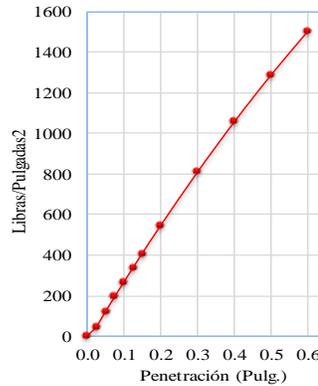
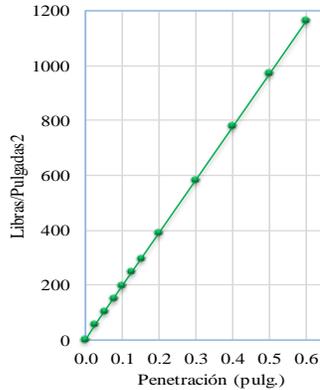
Humedad Optima (%): 5.29%

Densidad. Seca Maxima 1.576 gr/cm3

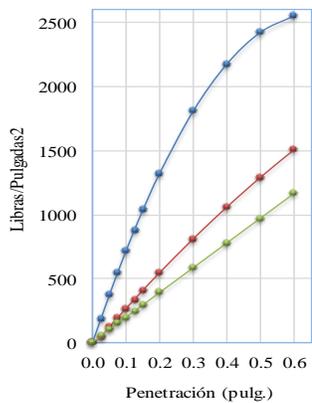
12 Golpes

26 Golpes

55 Golpes

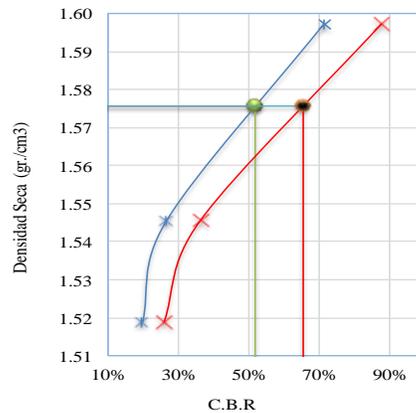


Esfuerzo vs Deformación



● 55 Golpes ● 26 Golpes ● 12 Golpes

Curva CBR. 0.1" y 0.2"



* CBR 0.1" * CBR 0.2"

| Densidad Seca.(gr./cm3) | CBR-"0.1" | CBR-0.2" |
|--------------------------------------|---------------|--------------|
| 1.52 | 19.80% | 26.04% |
| 1.55 | 26.67% | 36.40% |
| 1.60 | 71.64% | 88.11% |
| Maxima densidad seca(gr./cm3) | | |
| 1.58 | 52.13% | 65.4% |

Fuente: Elaboración propia

Anexo B-4.2.4: CBR M4-SC (1)

Ensayo: PROCTOR MODIFICADO

| | |
|-------------|---|
| Tesis: | "Evaluación de los residuos reciclados de las ladrilleras de San Jerónimo, para la aplicación en sub base |
| Tesisistas: | Bach. Acuña Obregon Julie Teresa, Bach. Rumaja Santos Marc. |
| Ubicación: | Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil |
| Fecha: | 28/08/2018 |
| Muestra: | M4-SC (Ladrillo Sobre Coccionado) |

Humedad Optima (%): **5.42%**

Densidad. Seca Maxima **1.576** gr/cm³

RELACION DENSIDAD - HUMEDAD (PROCTOR MODIFICADO) ASTM D-1557

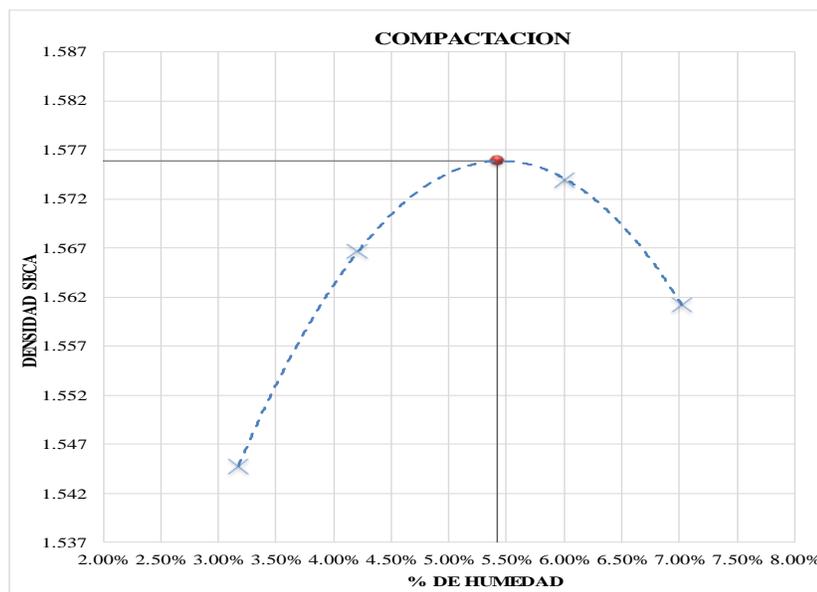
| | | | | | |
|-----------------------|-----------------------|----------------------|----------------------------------|--------------------|---------|
| N° Golpes / capa: | 56 | N° Capas: | 5 | Peso del Martillo: | 10 Lbs. |
| Dimensiones del Molde | Diámetro (Cm): 15.240 | Altura (cm): 11.6434 | Vol. (cm ³): 2123.92 | | |
| | Sobre carga: 10 Lbs. | | | | |

DETERMINACION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD

| MUESTRA N° | 1 | | 2 | | 3 | | 4 | |
|---------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Peso de la Capsula(gr) | 57.46 | 57.46 | 58.15 | 58.15 | 58.77 | 58.77 | 63.74 | 63.74 |
| Peso del Capsula + muestra húmeda(gr) | 142.90 | 142.90 | 120.60 | 120.60 | 126.60 | 126.60 | 133.05 | 133.05 |
| Peso del Capsula + muestra seca (gr) | 140.27 | 140.27 | 118.08 | 118.08 | 122.76 | 122.76 | 128.50 | 128.50 |
| Peso del agua (gr) | 2.63 | 2.63 | 2.52 | 2.52 | 3.84 | 3.84 | 4.55 | 4.55 |
| Peso del material seco (gr) | 82.8 | 82.8 | 59.9 | 59.9 | 64.0 | 64.0 | 64.8 | 64.8 |
| Contenido de humedad (gr) | 3.18% | 3.18% | 4.20% | 4.20% | 6.00% | 6.00% | 7.03% | 7.03% |
| % PROMEDIO | 3.18% | | 4.20% | | 6.00% | | 7.03% | |

DETERMINACION DE LA DENSIDAD

| | | | | |
|---------------------------------------|--------------|--------------|--|--------------|
| Contenido de Humedad % | 3.18% | 4.20% | 6.00% | 7.03% |
| Peso del suelo + Molde (gr) | 9848.4 | 9930.7 | 10006.7 | 10012.1 |
| Peso del Molde (gr) | 6463.20 | 6463.20 | 6463.20 | 6463.20 |
| Peso del suelo Húmedo (gr) | 3385.20 | 3467.50 | 3543.50 | 3548.90 |
| Densidad Húmeda (gr/cm ³) | 1.594 | 1.633 | 1.668 | 1.671 |
| Densidad seca (gr/cm ³) | 1.545 | 1.567 | 1.574 | 1.561 |
| | | | Densidad Máxima (grs/cm ³) | 1.576 |
| | | | Humedad Optima% | 5.42% |



Fuente: Elaboración propia

Anexo B-4.2.4: CBR M2-SC (2)

Ensayo: VALOR DE SOPORTE RELATIVO (C.B.R) "Compactacion y Penetracion"

| | |
|------------|--|
| Tesis: | "Evaluación de los residuos reciclados de las ladrilleras de San Jerónimo, para la aplicación en sub base" |
| Tesistas: | Bach. Acuña Obregon Julie Teresa, Bach. Rumaja Santos Marc. |
| Ubicación: | Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil |
| Fecha: | 04/09/2018 |
| Muestra: | M4-SC (Ladrillo Sobre Coccionado) |

Humedad Optima (%): **5.42%**

Densidad. Seca Maxima **1.576** gr/cm³

COMPACTACIÓN

| Molde N° | Uno | Dos | Tres |
|--|-------------|-------------|-------------|
| N° de golpes por capa | 12 | 25 | 56 |
| CONDICIONES DE LA MUESTRA | 3000 | 3000 | 3000 |
| Peso del Molde + suelo húmedo (grs) | 10529.20 | 10714.90 | 10824.40 |
| Peso del molde (grs) | 6850.90 | 6869.80 | 6890.10 |
| Peso del suelo húmedo (grs.) | 3678.30 | 3845.10 | 3934.30 |
| Volumen del molde (cm ³) | 2316.67 | 2316.67 | 2316.67 |
| Densidad húmeda (grs./cm ³) | 1.59 | 1.66 | 1.70 |
| Densidad seca (grs./cm³) | 1.48 | 1.54 | 1.58 |
| Capsula N° | Uno | Dos | Tres |
| Peso de la Capsula + suelo húmedo (grs.) | 116.09 | 114.32 | 124.25 |
| Peso de la Capsula + suelo seco (grs.) | 111.73 | 110.35 | 119.64 |
| Peso del agua (grs.) | 4.36 | 3.97 | 4.61 |
| Peso de la Capsula (grs.) | 53.94 | 57.23 | 58.04 |
| Peso del suelo seco (grs.) | 57.79 | 53.12 | 61.60 |
| Contenido de Humedad (%) | 7.54 | 7.47 | 7.48 |

PENETRACIÓN

| PENETRACIÓN (plg) | MOLDE N°01-N° de Golpes 12 | | | MOLDE N°02-N° de Golpes 26 | | | MOLDE N°03- N° de Golpes 55 | | |
|-------------------|----------------------------|----------------|--------------------------|----------------------------|----------------|--------------------------|-----------------------------|----------------|--------------------------|
| | LECTURA (DIAL) | Carga (Libras) | Es fuerza (Libras /plg2) | LECTURA (DIAL) | Carga (Libras) | Es fuerza (Libras /plg2) | LECTURA (DIAL) | Carga (Libras) | Es fuerza (Libras /plg2) |
| 0.000 | 0.00 | 0.0 | 0.00 | 0.00 | 0.0 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 0.025 | 6.00 | 55.9 | 47.94 | 9.00 | 84.7 | 72.43 | 13.00 | 123.17 | 183.78 |
| 0.050 | 17.00 | 161.6 | 97.27 | 21.00 | 200.0 | 151.52 | 30.00 | 286.37 | 370.28 |
| 0.075 | 32.00 | 305.6 | 146.51 | 39.00 | 372.7 | 229.19 | 58.00 | 554.83 | 549.23 |
| 0.100 | 47.00 | 449.4 | 195.65 | 63.00 | 602.7 | 305.46 | 116.00 | 1109.61 | 720.61 |
| 0.125 | 63.00 | 602.7 | 244.70 | 85.00 | 813.3 | 380.33 | 174.00 | 1662.64 | 884.44 |
| 0.150 | 80.00 | 765.5 | 293.65 | 108.00 | 1033.2 | 453.79 | 229.00 | 2185.45 | 1040.71 |
| 0.200 | 107.00 | 1023.6 | 391.27 | 152.00 | 1453.1 | 596.48 | 323.00 | 3075.40 | 1330.59 |
| 0.300 | 174.00 | 1662.6 | 585.40 | 249.00 | 2375.2 | 865.00 | 488.00 | 4626.78 | 1819.65 |
| 0.400 | 233.00 | 2223.4 | 778.02 | 324.00 | 3084.8 | 1111.02 | 640.00 | 6044.07 | 2187.81 |
| 0.500 | 286.00 | 2725.6 | 969.14 | 399.00 | 3791.7 | 1334.54 | 772.00 | 7265.85 | 2435.05 |
| 0.600 | 355.00 | 3377.3 | 1158.76 | 463.00 | 4392.6 | 1535.56 | 785.00 | 7385.73 | 2561.39 |

Fuente: Elaboración propia

Anexo B-4.2.4: CBR M2-SC (3)

Ensayo: VALOR DE SOPORTE RELATIVO (C.B.R) "Graficos "

| | |
|------------|--|
| Tesis: | "Evaluación de los residuos reciclados de las ladrilleras de San Jerónimo, para la aplicación en sub base" |
| Tesistas: | Bach. Acuña Obregon Julie Teresa, Bach. Rumaja Santos Marc. |
| Ubicación: | Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil |
| Fecha: | 04/09/2018 |
| Muestra: | M4-SC (Ladrillo Sobre Coccionado) |

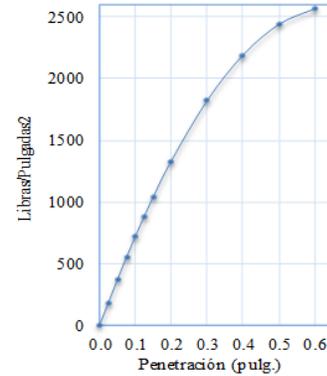
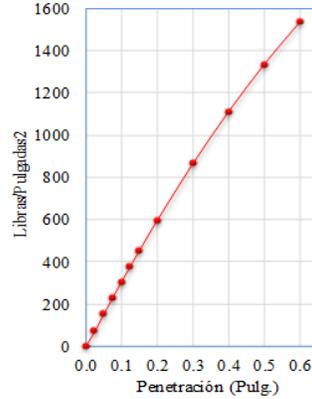
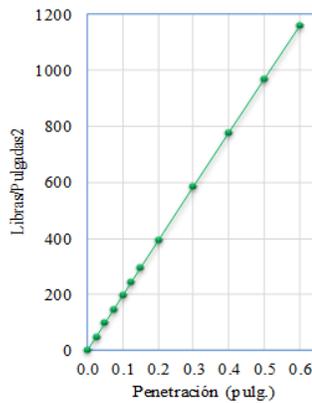
Humedad Optima (%): **5.42%**

Densidad. Seca Maxima **1.576** gr/cm3

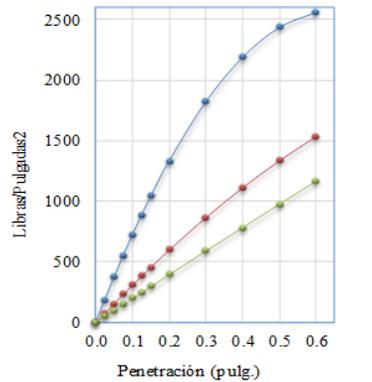
12 Golpes

26 Golpes

55 Golpes

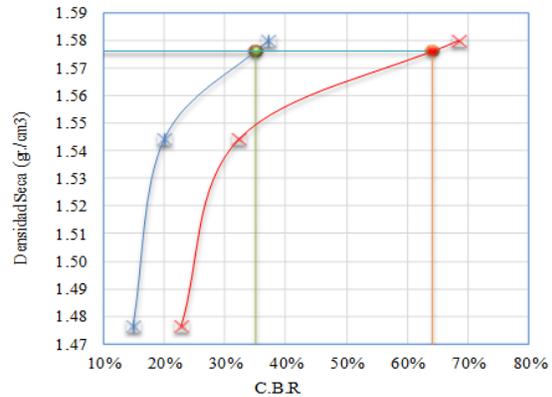


Esfuerzo vs Deformación



● 55 Goles ● 26 Golpes ● 12 Golpes

Curva CBR. 0.1" y 0.2"



✱ CBR 0.1" ✕ CBR 0.2"

| Densidad Se ca.(gr./cm3) | CBR-"0.1" | CBR-0.2" |
|--------------------------------------|---------------|--------------|
| 1.476 | 19.80% | 26.04% |
| 1.544 | 26.67% | 36.40% |
| 1.580 | 71.64% | 88.11% |
| Maxima densidad seca(gr./cm3) | | |
| 1.576 | 52.13% | 65.4% |

Fuente: Elaboración propia

Anexo B-4.2.5: CBR M5-SC COMPROBACIÓN (1)

Ensayo: VALOR DE SOPORTE RELATIVO (C.B.R) "Compactacion y Penetracion"

| | |
|------------|---|
| Tesis: | "Evaluación de los residuos reciclados de las ladrilleras de San Jerónimo, para la aplicación en sub base de pavimentos, en la ciudad del Cusco - 2018" |
| Tesistas: | Bach. Acuña Obregon Julie Teresa, Bach. Rumaja Santos Marc. |
| Ubicación: | Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil |
| Fecha: | 24/09/2018 |
| Muestra: | Comprobación (Residuo de Ladrillo Sobre Coccionado) |

Humedad Optima (%): **5.54%**

Densidad. Seca Maxima **1.640** gr/cm³

COMPACTACIÓN

| Molde N° | 1 | 2 | 3 |
|--|-------------|--------------|----------------|
| N° de golpes por capa | 12 | 25 | 56 |
| CONDICIONES DE LA MUESTRA | 3000 | 3000 | 3000 |
| Peso del molde + suelo húmedo (grs) | 10898.80 | 11009.00 | 11081.70 |
| Peso del molde (gramos) | 6991.40 | 6886.00 | 6883.90 |
| Peso del suelo húmedo (grs.) | 3907.40 | 4123.00 | 4197.80 |
| Volumen del molde (cc) | 2316.67 | 2316.67 | 2316.67 |
| Densidad húmeda (grs./cm ³) | 1.69 | 1.78 | 1.81 |
| Densidad seca (grs./cm³) | 1.57 | 1.61 | 1.65037 |
| Tarro N° | | | |
| Peso del tarro + suelo húmedo (grs.) | 128.25 | 116.31 | 141.71 |
| Peso del tarro + suelo seco (grs.) | 123.32 | 110.98 | 134.36 |
| Peso del agua (grs.) | 4.93 | 5.33 | 7.35 |
| Peso del tarro (grs.) | 53.97 | 59.22 | 59.31 |
| Peso del suelo seco (grs.) | 69.35 | 51.76 | 75.05 |
| % de humedad | 7.11 | 10.30 | 9.79 |

PENETRACIÓN

| PENETRACIÓN (plg) | MOLDE N°01-N° de Golpes 12 | | | MOLDE N°02-N° de Golpes 26 | | | MOLDE N°03- N° de Golpes 55 | | |
|-------------------|----------------------------|----------------|---------------------------------------|----------------------------|----------------|---------------------------------------|-----------------------------|----------------|---------------------------------------|
| | LECTURA (DIAL) | Carga (Libras) | Es fuerza (Libras /plg ²) | LECTURA (DIAL) | Carga (Libras) | Es fuerza (Libras /plg ²) | LECTURA (DIAL) | Carga (Libras) | Es fuerza (Libras /plg ²) |
| 0.000 | 0.00 | 0.0 | 0.00 | 0.00 | 0.0 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 0.025 | 6.00 | 55.9 | 54.86 | 18.50 | 176.0 | 72.71 | 14.00 | 132.78 | 175.39 |
| 0.050 | 16.00 | 152.0 | 109.61 | 33.50 | 319.9 | 147.17 | 34.00 | 324.75 | 355.09 |
| 0.075 | 31.50 | 300.8 | 163.80 | 51.00 | 487.8 | 221.37 | 58.00 | 554.83 | 528.69 |
| 0.100 | 50.50 | 483.0 | 217.44 | 69.00 | 660.2 | 295.31 | 88.50 | 846.79 | 696.19 |
| 0.125 | 69.00 | 660.2 | 270.51 | 85.50 | 818.1 | 369.00 | 123.00 | 1176.45 | 857.59 |
| 0.150 | 88.00 | 842.0 | 323.02 | 106.00 | 1014.1 | 442.43 | 162.50 | 1553.13 | 1012.90 |
| 0.200 | 121.00 | 1157.4 | 426.37 | 146.00 | 1395.9 | 588.53 | 240.50 | 2294.57 | 1305.23 |
| 0.300 | 181.50 | 1734.0 | 626.34 | 223.50 | 2133.2 | 877.63 | 392.50 | 3730.52 | 1816.72 |
| 0.400 | 240.50 | 2294.6 | 817.35 | 296.00 | 2820.2 | 1162.63 | 530.50 | 5024.20 | 2230.66 |
| 0.500 | 297.50 | 2834.4 | 999.40 | 363.00 | 3452.7 | 1443.52 | 640.00 | 6044.07 | 2547.05 |
| 0.600 | 353.50 | 3363.2 | 1172.49 | 429.00 | 4073.6 | 1720.31 | 724.50 | 6827.15 | 2765.90 |

Fuente: Elaboración propia

Anexo B-4.2.5: CBR M5-SC COMPROBACIÓN (2)

Ensayo: VALOR DE SOPORTE RELATIVO (C.B.R) "Graficos"

| | |
|------------|---|
| Tesis: | "Evaluación de los residuos reciclados de las ladrilleras de San Jerónimo, para la aplicación en sub base de pavimentos, en la ciudad del Cusco - 2018" |
| Tesistas: | Bach. Acuña Obregon Julie Teresa, Bach. Rumaja Santos Marc. |
| Ubicación: | Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil |
| Fecha: | 24/09/2018 |
| Muestra: | Comprobación (Residuo de Ladrillo Sobre Coccionado) |

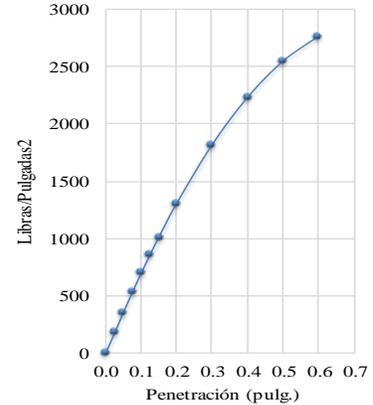
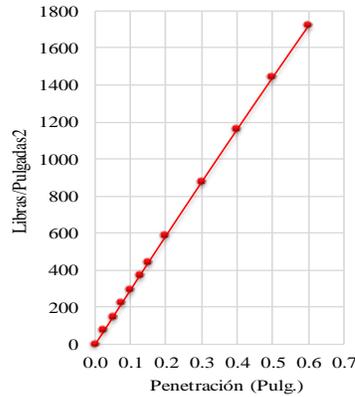
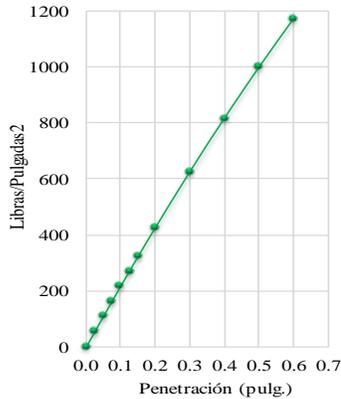
Humedad Optima (%): 5.54%

Densidad. Seca Maxima 1.640 gr/cm3

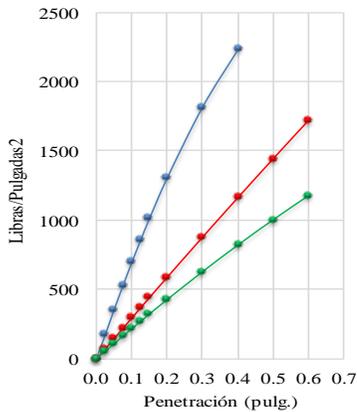
12 Golpes

26 Golpes

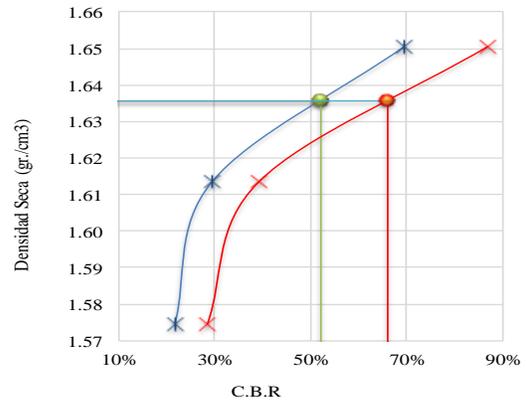
55 Golpes



Esfuerzo vs Deformación



Curva CBR. 0.1" y 0.2"



—●— 55 Golpes —●— 26 Golpes —●— 12 Golpes

—*— CBR 0.1" —*— CBR 0.2"

| Densidad Seca.(gr./cm3) | CBR-"0.1" | CBR-0.2" |
|--------------------------------------|--------------|--------------|
| 1.57 | 21.74% | 28.42% |
| 1.61 | 29.53% | 39.24% |
| 1.65 | 69.62% | 87.02% |
| Maxima densidad seca(gr./cm3) | | |
| 1.6355 | 52.0% | 66.0% |

Fuente: Elaboración propia

Anexo B-5: Equivalente de arena

Anexo B-5.1: Equivalente de arena “Muestra coccionada”

EQUIVALENTE DE ARENA

Basado en la Norma MTC E 114, ASTM D 2419 Y AASHTO T 176

| | |
|------------|---|
| Tesis: | "Evaluación de los residuos reciclados de las ladrilleras de San Jerónimo, para la aplicación en sub base de pavimentos, en la ciudad del Cusco - 2018" |
| Tesistas: | Bach. Acuña Obregon Julie Teresa, Bach. Rumaja Santos Marc. |
| Ubicación: | Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales de la Escuela Profesional de Ingeniería |
| Fecha: | 24/09/2018 |
| Muestra: | Ladrillo Coccionado |

DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA

| Muestra | M1 | | M2 | | M3 | | M4 | |
|-------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | (1) | (2) | (1) | (2) | (1) | (2) | (1) | (2) |
| Nro de Prueba | | | | | | | | |
| Lectura de la Arcilla (pulg.) | 3.7 | 3.75 | 3.65 | 3.6 | 3.6 | 3.65 | 3.6 | 3.8 |
| Lectura de la Arena (pulg.) | 3.2 | 3.15 | 3 | 3.15 | 3.15 | 3.1 | 3.1 | 3.2 |
| Equivalente de Arena | 86.49% | 84.00% | 82.19% | 87.50% | 87.50% | 84.93% | 86.11% | 84.21% |
| E/A | 85.24% | | 84.85% | | 86.22% | | 85.16% | |
| PROMEDIO | 85.37% | | | | | | | |

Fuente: Elaboración propia

Anexo B-5.2: Equivalente de arena “Muestra sobre coccionada”

EQUIVALENTE DE ARENA

Basado en la Norma MTC E 114, ASTM D 2419 Y AASHTO T 176

| | |
|------------|---|
| Tesis: | "Evaluación de los residuos reciclados de las ladrilleras de San Jerónimo, para la aplicación en sub base de pavimentos, en la ciudad del Cusco - 2018" |
| Tesistas: | Bach. Acuña Obregon Julie Teresa, Bach. Rumaja Santos Marc. |
| Ubicación: | Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil |
| Fecha: | 24/09/2018 |
| Muestra: | Ladrillo Sobre Coccionado |

DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA

| Muestra | M1 | | M2 | | M3 | | M4 | |
|-------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | (1) | (2) | (1) | (2) | (1) | (2) | (1) | (2) |
| Nro de Prueba | | | | | | | | |
| Lectura de la Arcilla (pulg.) | 3.4 | 3.3 | 3.4 | 3.4 | 3.4 | 3.4 | 3.4 | 3.4 |
| Lectura de la Arena (pulg.) | 3.4 | 3.3 | 3.4 | 3.4 | 3.4 | 3.4 | 3.4 | 3.4 |
| Equivalente de Arena | 100.00% | 100.00% | 100.00% | 100.00% | 100.00% | 100.00% | 100.00% | 100.00% |
| E/A | 100.00% | | 100.00% | | 100.00% | | 100.00% | |
| PROMEDIO | 100.00% | | | | | | | |

Fuente: Elaboración propia

Anexo B-6: Sales solubles

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO**
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS, FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
Av. de la Cultura 733 - Pabellón "C" Of. 106 1er. piso - Telefax: 224831 - Apartado Postal 921 - Cusco Perú

**UNIDAD DE PRESTACIONES DE SERVICIO DE ANÁLISIS QUÍMICO**
DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE QUÍMICA
INFORME DE ANÁLISIS N90493-18-LAQ

SOLICITANTE: RUMAJA SANTOS MARTIN

MUESTRA : 1.- LADRILLO COCCIONADO
2.- LADRILLO SOBRE COCCIONADO

OBJETIVO : DETERMINACION DE SALES SOLUBLES TOTALES

FECHA : C/12/09/2018

RESULTADO ANALISIS FISICOQUIMICO:

| ===== | |
|---------------------------|---------|
| Sales Solubles | |
| Totales ppm | |
| ===== | |
| Ladrillo Coccionado | 1362.50 |
| Ladrillo Sobre Coccionado | 204.00 |
| ===== | |

* ASTM C-510

Cusco, 14 de Setiembre 2018


UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
Unidad de Prestación de Servicios Analíticos
Ing. HERNÁNDEZ ARMINA
RESPONSABLE DEL LABORATORIO
DE ANÁLISIS QUÍMICO

Fuente: Unidad de prestaciones de servicio de análisis Químico, Departamento Académico de Química-UNSAAC

Anexo B-7: Partículas chatas y alargadas

Anexo B-7.1: Partículas chatas y alargadas “Muestra coccionada”

PARTÍCULAS CHATAS Y ALARGADAS

Basado en la Norma ASTM D 4791

| | |
|------------|---|
| Tesis: | "Evaluación de los residuos reciclados de las ladrilleras de San Jerónimo, para la aplicación en sub base de pavimentos, en la ciudad del Cusco - 2018" |
| Tesistas: | Bach. Acuña Obregon Julie Teresa, Bach. Rumaja Santos Marc. |
| Ubicación: | Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil |
| Fecha: | 10/09/2018 |
| Muestra: | Ladrillo Coccionado |

DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA

| M1 | | | | | | | | | |
|-----------------|------------------------|---------------|----------------------------|-------------------|---------|--------------------|----------------------|--------------------|-------------|
| Datos Iniciales | | | | Partículas Chatas | | | Partículas Alargadas | | |
| Tamiz | Peso Retenido en malla | Peso Retenido | % de la gradación original | Peso Seco (gr) | % Total | % Corregido | Peso Seco (gr) | % Total | % Corregido |
| 1/2" | 376.15 | 177.25 | 7.60% | 40.77 | 23.00% | 1.75% | 5.58 | 3.15% | 0.24% |
| 3/8" | 733.7 | 534.8 | 22.94% | 56.60 | 10.58% | 2.43% | 19.23 | 3.60% | 0.82% |
| Totales | | 712.05 | 30.54% | 97.37 | - | 4.18% | 24.81 | - | 1.06% |
| | | | | | | Corrección al 100% | 13.67% | Corrección al 100% | 3.48% |

| M2 | | | | | | | | | |
|-----------------|------------------------|---------------|----------------------------|-------------------|---------|--------------------|----------------------|--------------------|-------------|
| Datos Iniciales | | | | Partículas Chatas | | | Partículas Alargadas | | |
| Tamiz | Peso Retenido en malla | Peso Retenido | % de la gradación original | Peso Seco (gr) | % Total | % Corregido | Peso Seco (gr) | % Total | % Corregido |
| 1/2" | 412.6 | 127.5 | 5.50% | 21.52 | 16.88% | 0.93% | 5.20 | 4.08% | 0.22% |
| 3/8" | 803.7 | 518.6 | 22.39% | 69.26 | 13.36% | 2.99% | 17.75 | 3.42% | 0.77% |
| Totales | | 646.1 | 27.89% | 90.78 | - | 3.92% | 22.95 | - | 0.99% |
| | | | | | | Corrección al 100% | 14.05% | Corrección al 100% | 3.55% |

| M3 | | | | | | | | | |
|-----------------|------------------------|---------------|----------------------------|-------------------|---------|--------------------|----------------------|--------------------|-------------|
| Datos Iniciales | | | | Partículas Chatas | | | Partículas Alargadas | | |
| Tamiz | Peso Retenido en malla | Peso Retenido | % de la gradación original | Peso Seco (gr) | % Total | % Corregido | Peso Seco (gr) | % Total | % Corregido |
| 1/2" | 342.3 | 143.4 | 6.49% | 27.90 | 19.46% | 1.26% | 7.79 | 5.43% | 0.35% |
| 3/8" | 542.4 | 343.5 | 15.54% | 51.46 | 14.98% | 2.33% | 14.34 | 4.18% | 0.65% |
| Totales | | 486.9 | 22.02% | 79.36 | - | 3.59% | 22.13 | - | 1.00% |
| | | | | | | Corrección al 100% | 16.30% | Corrección al 100% | 4.55% |

| M4 | | | | | | | | | |
|-----------------|------------------------|---------------|----------------------------|-------------------|---------|--------------------|----------------------|--------------------|-------------|
| Datos Iniciales | | | | Partículas Chatas | | | Partículas Alargadas | | |
| Tamiz | Peso Retenido en malla | Peso Retenido | % de la gradación original | Peso Seco (gr) | % Total | % Corregido | Peso Seco (gr) | % Total | % Corregido |
| 1/2" | 557.3 | 272.2 | 11.42% | 42.66 | 15.67% | 1.79% | 9.29 | 3.41% | 0.39% |
| 3/8" | 826.3 | 541.2 | 22.70% | 69.98 | 12.93% | 2.94% | 15.59 | 2.88% | 0.65% |
| Totales | | 813.4 | 34.12% | 112.64 | - | 4.72% | 24.88 | - | 1.04% |
| | | | | | | Corrección al 100% | 13.85% | Corrección al 100% | 3.06% |

Fuente: Elaboración propia

Anexo B-7.2: Partículas chatas y alargadas “Muestra sobre coccionada”

PARTÍCULAS CHATAS Y ALARGADAS

Basado en la Norma ASTM D 4791

| | |
|------------|---|
| Tesis: | "Evaluación de los residuos reciclados de las ladrilleras de San Jerónimo, para la aplicación en sub base de pavimentos, en la ciudad del Cusco - 2018" |
| Tesistas: | Bach. Acuña Obregon Julie Teresa, Bach. Rumaja Santos Marc. |
| Ubicación: | Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil |
| Fecha: | 10/09/2018 |
| Muestra: | Ladrillo Sobre Coccionado |

DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA

| M1 - SC | | | | | | | | | |
|--------------------|------------------------|---------------|----------------------------|-------------------|---------|-------------|----------------------|---------|-------------|
| Datos Iniciales | | | | Partículas Chatas | | | Partículas Alargadas | | |
| Tamiz | Peso Retenido en malla | Peso Retenido | % de la gradación original | Peso Seco (gr) | % Total | % Corregido | Peso Seco (gr) | % Total | % Corregido |
| 1/2" | 602 | 403.1 | 16.89% | 49.80 | 12.35% | 2.09% | 2.70 | 0.67% | 0.11% |
| 3/8" | 782.2 | 583.3 | 24.43% | 63.80 | 10.94% | 2.67% | 29.75 | 5.10% | 1.25% |
| Totales | 1202 | 1003.1 | 41.32% | 113.60 | - | 4.76% | 32.44 | - | 1.36% |
| Corrección al 100% | | | | | | 11.52% | Corrección al 100% | | 3.29% |

| M2 - SC | | | | | | | | | |
|--------------------|------------------------|---------------|----------------------------|-------------------|---------|-------------|----------------------|---------|-------------|
| Datos Iniciales | | | | Partículas Chatas | | | Partículas Alargadas | | |
| Tamiz | Peso Retenido en malla | Peso Retenido | % de la gradación original | Peso Seco (gr) | % Total | % Corregido | Peso Seco (gr) | % Total | % Corregido |
| 1/2" | 412.6 | 149.7 | 6.44% | 27.97 | 18.68% | 1.20% | 1.90 | 1.27% | 0.08% |
| 3/8" | 803.7 | 602 | 25.91% | 57.55 | 9.56% | 2.48% | 24.87 | 4.13% | 1.07% |
| Totales | | 1001.2 | 32.36% | 85.52 | - | 3.68% | 26.77 | - | 1.15% |
| Corrección al 100% | | | | | | 11.38% | Corrección al 100% | | 3.56% |

| M3 - SC | | | | | | | | | |
|--------------------|------------------------|---------------|----------------------------|-------------------|---------|-------------|----------------------|---------|-------------|
| Datos Iniciales | | | | Partículas Chatas | | | Partículas Alargadas | | |
| Tamiz | Peso Retenido en malla | Peso Retenido | % de la gradación original | Peso Seco (gr) | % Total | % Corregido | Peso Seco (gr) | % Total | % Corregido |
| 1/2" | 342.3 | 218.7 | 10.08% | 52.43 | 23.97% | 2.42% | 12.88 | 5.89% | 0.59% |
| 3/8" | 542.4 | 433 | 19.96% | 49.20 | 11.36% | 2.27% | 20.85 | 4.82% | 0.96% |
| Totales | | 1119.3 | 30.05% | 101.63 | - | 4.69% | 33.73 | - | 1.56% |
| Corrección al 100% | | | | | | 15.60% | Corrección al 100% | | 5.18% |

| M4 - SC | | | | | | | | | |
|--------------------|------------------------|---------------|----------------------------|-------------------|---------|-------------|----------------------|---------|-------------|
| Datos Iniciales | | | | Partículas Chatas | | | Partículas Alargadas | | |
| Tamiz | Peso Retenido en malla | Peso Retenido | % de la gradación original | Peso Seco (gr) | % Total | % Corregido | Peso Seco (gr) | % Total | % Corregido |
| 1/2" | 557.3 | 239.2 | 11.88% | 18.64 | 7.79% | 0.93% | 8.75 | 3.66% | 0.43% |
| 3/8" | 826.3 | 460.2 | 22.86% | 63.64 | 13.83% | 3.16% | 13.65 | 2.97% | 0.68% |
| Totales | | 743.8 | 34.74% | 82.28 | - | 4.09% | 22.40 | - | 1.11% |
| Corrección al 100% | | | | | | 11.76% | Corrección al 100% | | 3.20% |

Fuente: Elaboración propia

Anexo B-8: Absorción de agregado

Anexo B-8.1: Absorción de agregado grueso “Muestra coccionada”

ABSORCIÓN DE AGREGADO GRUESO

Basado en la Norma MTC E 206

| | |
|------------|---|
| Tesis: | "Evaluación de los residuos reciclados de las ladrilleras de San Jerónimo, para la aplicación en sub base de pavimentos, en la ciudad del Cusco - 2018" |
| Tesistas: | Bach. Acuña Obregon Julie Teresa, Bach. Rumaja Santos Marc. |
| Ubicación: | Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil |
| Fecha: | 22/08/2018 |
| Muestra: | Ladrillo Coccionado |

| Muestra Coccionada | | | | | | |
|--------------------|------------------|--------------------------|-----------------|---|----------------------------------|----------------|
| Muestra | Recipiente Vacío | Recipiente + Muestra SSS | Muestra SSS (B) | Peso Muestra Secada Al Horno + Recipiente | Peso Muestra Secada Al Horno (A) | Absorción (Ab) |
| M1 | 59.43 | 692.75 | 633.32 | 615.88 | 556.45 | 13.81% |
| M2 | 240.42 | 753.11 | 512.69 | 687.38 | 446.96 | 14.71% |
| M3 | 403.8 | 936.01 | 532.21 | 868.72 | 464.92 | 14.47% |
| M4 | 189.16 | 756.61 | 567.45 | 690.73 | 501.57 | 13.13% |
| PROMEDIO | | | | | | 14.03% |

Fuente: Elaboración propia

Anexo B-8.2: Absorción de agregado “Muestra sobre coccionada”

ABSORCIÓN DE AGREGADO GRUESO

Basado en la Norma MTC E 206

| | |
|------------|---|
| Tesis: | "Evaluación de los residuos reciclados de las ladrilleras de San Jerónimo, para la aplicación en sub base de pavimentos, en la ciudad del Cusco - 2018" |
| Tesistas: | Bach. Acuña Obregon Julie Teresa, Bach. Rumaja Santos Marc. |
| Ubicación: | Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil |
| Fecha: | 22/08/2018 |
| Muestra: | Ladrillo Sobre Coccionado |

DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA

| Nombre Muestra | Recipiente Vacío | Recipiente + Muestra SSS | Muestra SSS (B) | Peso Muestra Secada Al Horno + Recipiente | Peso Muestra Secada Al Horno (A) | Absorción (Ab) |
|-----------------|------------------|--------------------------|-----------------|---|----------------------------------|----------------|
| M1 - SC | 57.22 | 521.32 | 464.1 | 510.8 | 453.58 | 2.32% |
| M2 - SC | 59.37 | 704.61 | 645.24 | 690.99 | 631.62 | 2.16% |
| M3 - SC | 55.53 | 447.09 | 391.56 | 438.37 | 382.84 | 2.28% |
| M4 - SC | 55.5 | 627.1 | 571.6 | 614.74 | 559.24 | 2.21% |
| PROMEDIO | | | | | | 2.25% |

Fuente: Elaboración propia

Anexo B-8.3: Absorción de agregado fino

Anexo B-8.3: Absorción de agregado fino “Muestra coccionada”

ABSORCIÓN DE AGREGADO FINO

Basado en la Norma MTC E 205

| | |
|------------|---|
| Tesis: | "Evaluación de los residuos reciclados de las ladrilleras de San Jerónimo, para la aplicación en sub base de pavimentos, en la ciudad del Cusco - 2018" |
| Tesistas: | Bach. Acuña Obregon Julie Teresa, Bach. Rumaja Santos Marc. |
| Ubicación: | Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil |
| Fecha: | 22/08/2018 |
| Muestra: | Ladrillo Coccionado |

DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA

| Muestra Coccionada | | | | | | | |
|--------------------|-------------|---------------|--------------------------|------------------------|----------------------|----------------|----------------|
| Muestra | Muestra SSS | Cápsula Vacía | Cápsula + Muestra Humeda | Cápsula + Muestra Seca | Contenido de Humedad | Peso Seco (Wo) | Absorción (Ab) |
| M1 | 500.00 | 59.06 | 139.18 | 126.24 | 19.26% | 419.25 | 19.26% |
| M2 | 500.00 | 57.7 | 137.98 | 125.3 | 18.76% | 421.03 | 18.76% |
| M3 | 500.00 | 57.21 | 143.53 | 129.52 | 19.37% | 418.85 | 19.37% |
| M4 | 500.00 | 63.9 | 157.74 | 141.88 | 20.34% | 415.49 | 20.34% |
| PROMEDIO | | | | | | | 19.43% |

Fuente: Elaboración propia

Anexo B-8.4: Absorción de agregado fino “Muestra sobre coccionada”

ABSORCIÓN DE AGREGADOS FINO

MTC E 108, Basado en la Norma ASTM D-2216

| | |
|------------|---|
| Tesis: | "Evaluación de los residuos reciclados de las ladrilleras de San Jerónimo, para la aplicación en sub base de pavimentos, en la ciudad del Cusco - 2018" |
| Tesistas: | Bach. Acuña Obregon Julie Teresa, Bach. Rumaja Santos Marc. |
| Ubicación: | Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil |
| Fecha: | 29/08/2018 |
| Muestra: | Ladrillo Sobre Coccionado |

| Muestra Sobre Coccionada | | | | | | | | | |
|--------------------------|------------------|--------------------------|-------------|---------------|--------------------------|------------------------|----------------------|----------------|----------------|
| Muestra | Recipiente Vacío | Recipiente + Muestra SSS | Muestra SSS | Cápsula Vacía | Cápsula + Muestra Humeda | Cápsula + Muestra Seca | Contenido de Humedad | Peso Seco (Wo) | Absorción (Ab) |
| M1 -SC | 141.39 | 641.45 | 500.00 | 59.26 | 135.97 | 130.57 | 7.57% | 464.80 | 7.57% |
| M2 - SC | 141.92 | 641.53 | 499.61 | 57.7 | 136.88 | 131.3 | 7.58% | 464.40 | 7.67% |
| M3 - SC | 141.92 | 641.32 | 499.40 | 57.21 | 132.13 | 127.12 | 7.17% | 466.00 | 7.30% |
| M4 -SC | 142.57 | 641.84 | 500.00 | 63.9 | 128.74 | 124.62 | 6.79% | 468.23 | 6.79% |
| PROMEDIO | | | | | | | | | 7.33% |

Fuente: Elaboración propia

Anexo B-9 Proctor modificado condiciones críticas

Ensayo: Proctor Modificado (Condiciones Críticas)

| | |
|------------|---|
| Tesis: | "Evaluación de los residuos reciclados de las ladrilleras de San Jerónimo, para la aplicación en sub base de pavimentos, en la ciudad del Cusco - 2018" |
| Tesistas: | Bach. Acuña Obregon Julie Teresa, Bach. Rumaja Santos Marc. |
| Ubicación: | Laboratorio de Suelos y Materiales Geotest-Peru. S.A.C. |
| Fecha: | 26/01/2019 |
| Muestra: | Ladrillo Coccionado (Comprobación) |

N° Golpes / capa: 56 N° Capas: 5 Peso del Martillo: 10 Lbs.
 Dimensiones del molde Diametro: 15.240 Altura: 11.43 Vol. 2085.00
 Sobrecarga: 10 Lbs.

RELACION densidad - HUMEDAD (PROCTOR MODIFICADO) ASTM D-1557

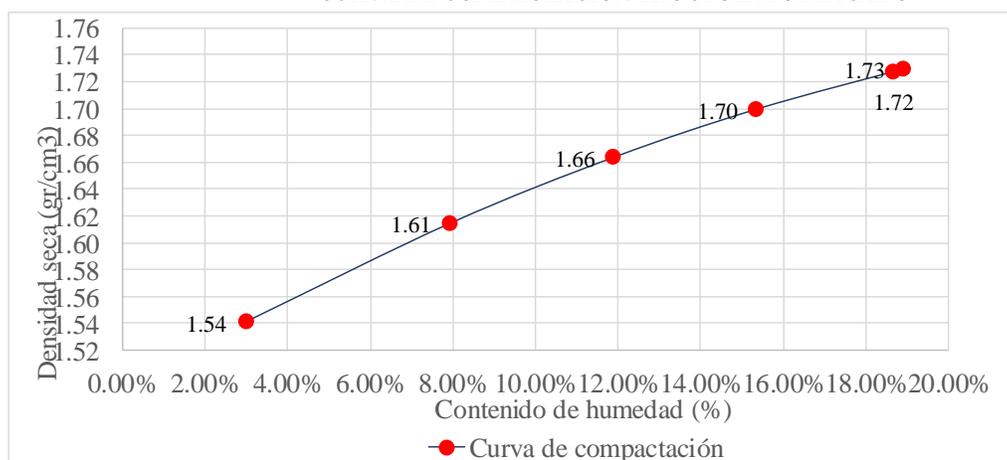
DETERMINACION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD

| MUESTRA N° | B1 | B2 | B3 | B4 | N-3 | N-4 |
|-------------------------------------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|
| Peso del cápsula (gr) | 18.16 | 18.30 | 18.86 | 18.59 | 21.58 | 21.67 |
| Peso del cápsula+muestra húmeda | 67.06 | 79.05 | 78.55 | 60.20 | 68.48 | 90.29 |
| Peso del cápsula+ muestra SECA (gr) | 65.64 | 74.58 | 72.20 | 54.66 | 61.02 | 79.50 |
| Peso del agua (gr) | 1.42 | 4.47 | 6.35 | 5.54 | 7.46 | 10.79 |
| Peso del material seco (gr) | 47.5 | 56.3 | 53.3 | 36.1 | 39.4 | 57.8 |
| Contenido de humedad (gr) | 2.99% | 7.94% | 11.90% | 15.36% | 18.91% | 18.66% |
| % PROMEDIO | 2.99% | 7.94% | 11.90% | 15.36% | 18.91% | 18.66% |

DETERMINACION DE LA DENSIDAD

| | | | | | | |
|---------------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Contenido de humedad % | 2.99% | 7.94% | 11.90% | 15.36% | 18.91% | 18.66% |
| Peso del suelo+molde (gr) | 9405.0 | 9705.0 | 9985.0 | 10185.0 | 10390.0 | 10345.0 |
| Peso del molde (gr) | 6090.00 | 6090.00 | 6090.00 | 6090.00 | 6090.00 | 6090.00 |
| Peso del suelo (gr) | 3315.00 | 3615.00 | 3895.00 | 4095.00 | 4300.00 | 4255.00 |
| densidad húmeda (gr/cm ³) | 1.59 | 1.73 | 1.87 | 1.96 | 2.06 | 2.04 |
| densidad seca (gr/cm ³) | 1.544 | 1.606 | 1.669 | 1.703 | 1.734 | 1.720 |

CURVA DE COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO



Fuente: Elaboración propia

Anexo C: Resultados de laboratorio del material de la cantera de Sencca
 Anexo C-1: Contenido de humedad



PRO&CON SILVER S.C.R.L.

- LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES

- Barrio Profesional c-1- Cusco, Telf: 084-254730, Cel. Movistar: 984-621489, Claro: 984-727700

Mejoramiento de la Transitabilidad Vehicular y Peatonal de las Vías No Pavimentadas de la Proyecto: margen derecha del Rio Huatanay, entre la APV Agua Buena y la APV Monterey del Distrito de San Sebastian, Cusco-Cusco

Ubicación: Margen Derecha Rio Huatanay-Distrito San Sebastian - Cusco

Solicita: Municipalidad Distrital de San Sebastian

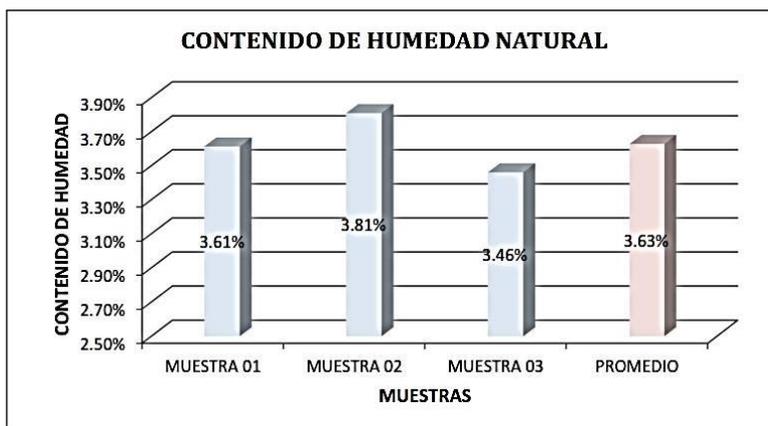
Muestra: Cantera Sencca

Fecha: viernes, 22 de julio de 2016

CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL

MTC E 108 - 2000, Basado en la Norma ASTM D-2216

| DESCRIPCIÓN | MUESTRA 01 | MUESTRA 02 | MUESTRA 03 |
|---------------------------------------|------------|------------|------------|
| Peso de Capsula (gr) | 30.56 | 19.35 | 15.73 |
| Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr) | 427.67 | 93.74 | 64.74 |
| Peso de Capsula + Muestra Seca (gr) | 413.82 | 91.01 | 63.10 |
| Peso del Agua (gr) | 13.85 | 2.73 | 1.64 |
| Peso de la Muestra Seca (gr) | 383.26 | 71.66 | 47.37 |
| Contenido de Humedad | 3.61% | 3.81% | 3.46% |



CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL = 3.63%

Laboratorio de Suelos y Materiales
 PROYECTOS & CONSTRUCCIONES SILVER S.C.R.L.
 Sergio Ivan Liendo Vargas
 Ingeniero Civil

Fuente: PRO&CON SILVER S.C.R.L, Laboratorio de Suelos y Materiales

Anexo C-2: Límite líquido
Anexo C-2: Límite líquido



PRO&CON SILVER S.C.R.L.

- LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES

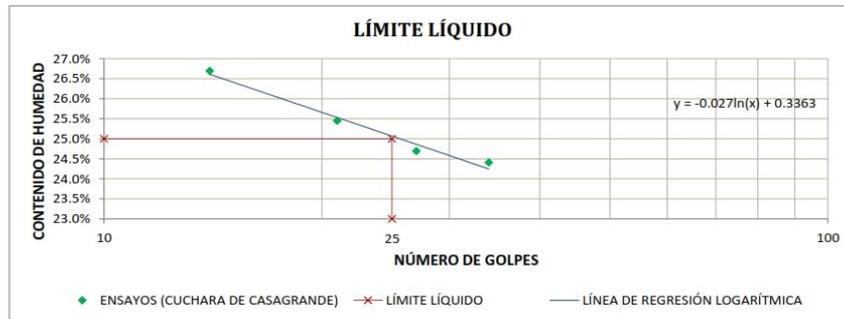
- Barrio Profesional c-1- Cusco, Telf: 084-254730, Cel. Movistar: 984-621489, Claro: 984-727700

Proyecto: Mejoramiento de la Transitabilidad Vehicular y Peatonal de las Vías No Pavimentadas de la margen derecha del Rio Huatanay, entre la APV Agua Buena y la APV Monterey del Distrito de San Sebastian, Cusco-Cusco
Ubicación: Margen Derecha Rio Huatanay-Distrito San Sebastian - Cusco
Solicita: Municipalidad Distrital de San Sebastian
Muestra: Cantera Sencca
Fecha: viernes, 22 de julio de 2016

LÍMITE LÍQUIDO

MTC E 110 - 2000, Basado en la Norma ASTM D-4318 y AASHTO T-89

| DESCRIPCIÓN | MUESTRA 01 | MUESTRA 02 | MUESTRA 03 | MUESTRA 04 |
|---------------------------------------|------------|------------|------------|------------|
| Peso de Capsula (gr) | 11.56 | 16.33 | 18.22 | 10.26 |
| Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr) | 34.70 | 41.58 | 42.62 | 33.80 |
| Peso de Capsula + Muestra Seca (gr) | 30.16 | 36.58 | 37.67 | 28.84 |
| Peso del Agua (gr) | 4.54 | 5.00 | 4.95 | 4.96 |
| Peso de la Muestra Seca (gr) | 18.60 | 20.25 | 19.45 | 18.58 |
| Contenido de Humedad | 24.41% | 24.69% | 25.45% | 26.70% |
| Número de Golpes | 34 | 27 | 21 | 14 |



LÍMITE PLÁSTICO

MTC E 111 - 2000, Basado en la Norma ASTM D-4318 y AASHTO T-90

| DESCRIPCIÓN | MUESTRA 01 | MUESTRA 02 | MUESTRA 03 |
|---------------------------------------|------------|------------|------------|
| Peso de Capsula (gr) | 11.27 | 9.22 | 6.47 |
| Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr) | 16.32 | 14.70 | 11.55 |
| Peso de Capsula + Muestra Seca (gr) | 15.60 | 13.98 | 10.82 |
| Peso del Agua (gr) | 0.72 | 0.72 | 0.73 |
| Peso de la Muestra Seca (gr) | 4.33 | 4.76 | 4.35 |
| Contenido de Humedad | 16.63% | 15.13% | 16.78% |



| |
|-------------------------------|
| LÍMITE LÍQUIDO = 25.00% |
| LÍMITE PLÁSTICO = 16.00% |
| ÍNDICE DE PLASTICIDAD = 9.00% |

Laboratorio de Suelos y Materiales
Sergio Ivan Liendo Vargas
Ingeniero Civil

Fuente: PRO&CON SILVER S.C.R.L, Laboratorio de Suelos y Materiales

Anexo D-3: Análisis granulométrico

Anexo C-3.1: Análisis granulométrico – clasificación de suelos

PRO&CON SILVER S.C.R.L.

LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES

- Barrio Profesional c-1 - Cusco, Tel: 084-254730, Cel. Movistar: 984-621489, Claro: 984-727700



Proyecto: Mejoramiento de la Transibilidad Vehicular y Peatonal de las Vías No Pavimentadas de la margen derecha del Río Huananay, entre la APV Agua Buena y la APV Monterrey del Distrito de San Sebastián, Cusco-Cusco

Ubicación: Margen Derecha Río Huananay-Distrito San Sebastián - Cusco

Solicitante: Municipalidad Distrital de San Sebastián

Muestra: Carretera Sencica

Fecha: viernes, 22 de julio de 2016

SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS (USCS)

ASTM D-2487

| DATOS PARA CLASIFICACIÓN | |
|----------------------------|------------|
| De Granulometría | |
| % de Gruesos = | 89.83% |
| % de Finos = | 10.17% |
| Total = | 100.00% |
| % de Grava = | 70.83% |
| % de Arena = | 19.00% |
| Total = | 89.83% |
| Fracción Gruesa | |
| % de Grava = | 78.85% |
| % de Arena = | 21.15% |
| Total = | 100.00% |
| Coefficientes | |
| Cu = | 173.88 |
| Cc = | 22.197 |
| De Límites de Consistencia | |
| LL = | 25.00% |
| LP = | 16.00% |
| IP = | 9.00% |
| Otros Datos | |
| Tipo = | Inorgánico |

| CRITERIOS PARA LA ASIGNACIÓN DE SÍMBOLOS DE GRUPO Y NOMBRE DE GRUPO CON EL USO DE ENSAYOS DE LABORATORIO | SÍMBOLO | NOMBRE DE GRUPO |
|--|--|--|
| GRAVAS LIMPIAS Menos del 5% pasa la malla Nº 200 | GW GP | Grava bien graduada Grava mal graduada |
| GRAVAS Más del 50% de la fracción gruesa es retenida en la malla Nº 4 | GM GC - GM | Grava limosa Grava arcillosa |
| SUELOS DE PARTÍCULAS FINAS Más del 50% es retenido en la malla Nº 200 | GW - GM GW - GC GP - GM GP - GC | Grava limosa arcillosa Grava bien graduada con limo Grava mal graduada con limo Grava mal graduada con arcilla |
| ARENAS LIMPIAS Menos del 5% pasa la malla Nº 200 | SW SP | Arena bien graduada Arena mal graduada |
| ARENAS El 50% o más de la fracción gruesa pasa la malla Nº 4 | SM SC SC - SM | Arena limosa Arena arcillosa Arena limosa arcillosa |
| ARENAS LIMPIAS Y CON FINOS Entre el 5 y 12% pasa malla Nº 200 | SW - SM SW - SC SP - SM SP - SC | Arena bien graduada con limo Arena bien graduada con arcilla Arena mal graduada con limo Arena mal graduada con arcilla |
| LIMOS Y ARCILLAS Límite Líquido menor que 50 | ML CL | Limo de baja plasticidad Arcilla de baja plasticidad |
| SUELOS DE PARTÍCULAS FINAS El 50% o más pasa la malla Nº 200 | CL - ML OL MH CH | Arcilla limosa Limo orgánico Arcilla orgánica Limo de alta plasticidad Arcilla de alta plasticidad |
| SUELOS ALTAMENTE ORGÁNICOS Principalmente materia orgánica de color oscuro | OH Pt | Limo orgánico Arcilla orgánica |

PRO&CON SILVER S.C.R.L. LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES

Ing. Juan Luis López Viquez
Ingeniero Civil

GP - GC = Grava mal graduada con arcilla y arena

Fuente: PRO&CON SILVER S.C.R.L, Laboratorio de Suelos y Materiales

Anexo C-3.2: Análisis granulométrico – clasificación de suelos

PRO&CON SILVER S.C.R.L.

- LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
- Barrio Profesional c-1 - Cusco, Telf: 084-254730, Cd. Movistar: 984-621489, Claro: 984-727700

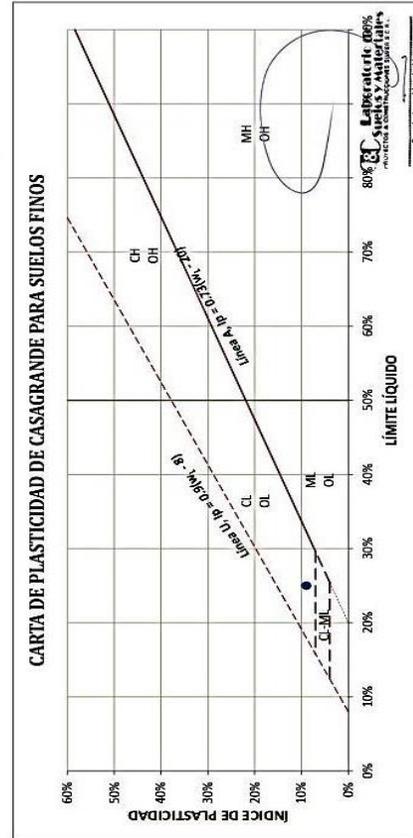
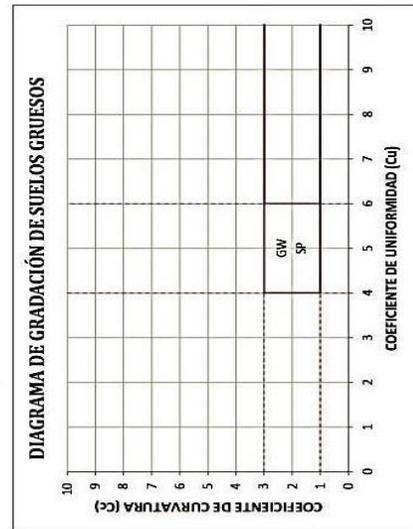
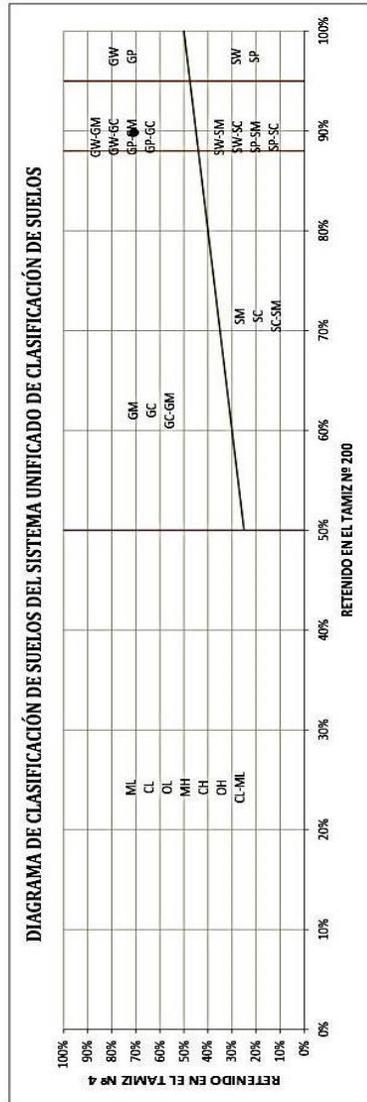
Proyecto: Mejoramiento de la Transitabilidad Vehicular y Peatonal de las Vías No Pavimentadas de la margen derecha del Río Huatanay, entre la APV Agua Buena y la APV Monterrey del Distrito de San Sebastián, Cusco-Cusco
Ubicación: Margen Derecha Río Huatanay-Distrito San Sebastián - Cusco
Solicitante: Municipalidad Distrital de San Sebastián
Muestra: Cantera Sencca
Fecha: Viernes, 22 de julio de 2016



SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS (SUS)

ASTM D-2487

El Equipo ideal de Compactación que recomienda la ASTM para este tipo de suelo es: Tractor tipo oruga, rodillo de neumáticos, rodillo con ruedas de acero, rodillo de pata de cabra



Fuente: PRO&CON SILVER S.C.R.L, Laboratorio de Suelos y Materiales

Anexo C-3.3: Análisis granulométrico – clasificación de suelos

PRO&CON SILVER S.C.R.L.

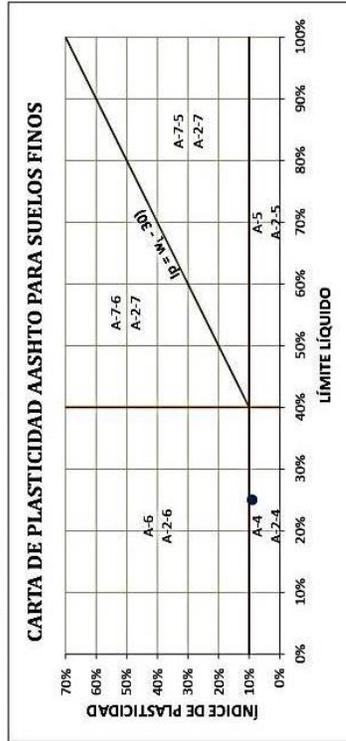
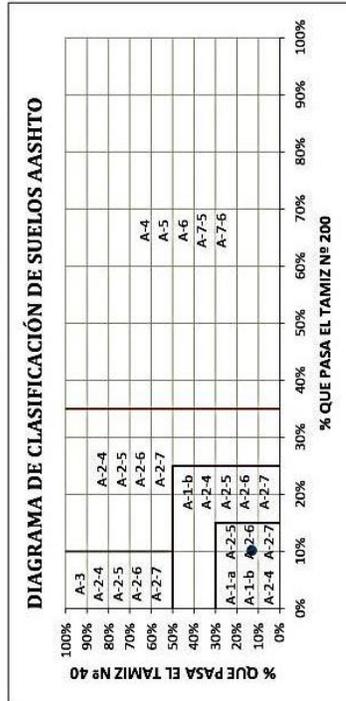
- LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
- Barrio Profesional c-1- Cusco, Telf: 084-254730, Cel. Movistar: 984-621489, Claro: 984-727700



Proyecto: Mejoramiento de la Transitabilidad Vehicular y Peatonal de las Vías No Pavimentadas de la margen derecha del Río Huatanay, entre la APV Agua Buena y la APV Monterey del Distrito de San Sebastián, Cusco-Cusco
Ubicación: Margen Derecha Río Huatanay-Distrito San Sebastián - Cusco
Solicitante: Municipalidad Distrital de San Sebastián
Muestra: Cantera Sencca
Fecha: viernes, 22 de Julio de 2016

CLASIFICACIÓN DE SUELOS SEGÚN AASHTO
AASHTO M-145

El Equipo ideal de Compactación que recomienda la AASHTO para este tipo de suelo es: Rodillo Neumático, Liso y Vibratorio



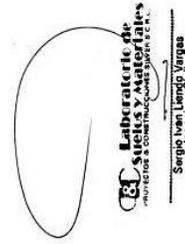
CÁLCULO DEL ÍNDICE DE GRUPO

| | |
|---------------|--|
| $F = 10.17$ | $F =$ Porcentaje de partículas sólidas que pasan el tamiz Nº 200 |
| $w_L = 25.00$ | $w_L =$ Límite líquido |
| $I_p = 9.00$ | $I_p =$ Índice de plasticidad |

$$IG = 0.2a + 0.005ac + 0.01bd$$

| | | | |
|----------------|--------------|---------------|------------|
| $a = F - 35$ | $a = -24.83$ | \Rightarrow | $a = 0.00$ |
| $b = F - 15$ | $b = -4.83$ | \Rightarrow | $b = 0.00$ |
| $c = w_L - 40$ | $c = -15.00$ | \Rightarrow | $c = 0.00$ |
| $d = I_p - 10$ | $d = -1.00$ | \Rightarrow | $d = 0.00$ |

| |
|----------|
| $IG = 0$ |
|----------|



Sergio Ivan Lampiz Yungue
Ingeniero Civil

Anexo C-4: Peso específico de suelos



PRO&CON SILVER S.C.R.L.

- LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES

- Barrio Profesional c-1- Cusco, Telf: 084-254730, Cel. Movistar: 984-621489, Claro: 984-727700

Proyecto: Mejoramiento de la Transitabilidad Vehicular y Peatonal de las Vías No Pavimentadas de la margen derecha del Rio Huatanay, entre la APV Agua Buena y la APV Monterey del Distrito de San Sebastian, Cusco-Cusco

Ubicación: Margen Derecha Rio Huatanay-Distrito San Sebastian - Cusco

Solicita: Municipalidad Distrital de San Sebastian

Muestra: Cantera Sencca

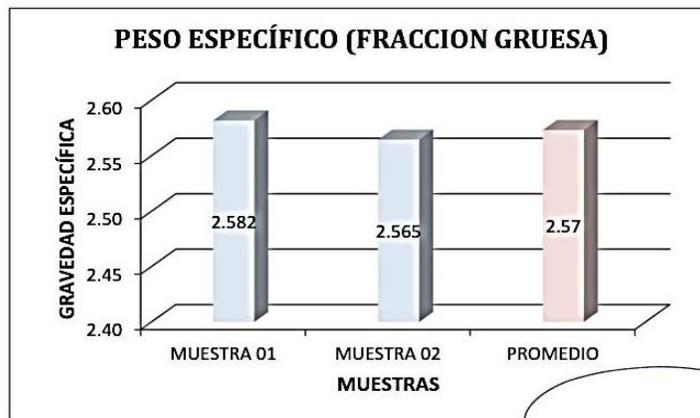
Fecha: viernes, 22 de julio de 2016

PESO ESPECÍFICO DE SUELOS (FRACCIÓN GRUESA)

MTC E 206 - 2000, Basado en la Norma ASTM C-127 y AASHTO T-85

| DATOS DEL ENSAYO | MUESTRA 01 | MUESTRA 02 |
|---|------------|------------|
| Número de Probeta | 1 | 2 |
| Volumen de la Probeta (ml) | 1000 | 900 |
| Peso de la Probeta (gr) | 554.87 | 265.83 |
| Peso de la Muestra Seca (gr) | 518.83 | 534.30 |
| Peso de la Probeta + Agua + Muestra (gr) | 1444.20 | 1163.43 |
| Temperatura del Agua (°C) | 15.7 | 15.7 |
| Peso de la Muestra Saturada con Superficie Seca (gr) | 525.21 | 540.87 |
| Peso de la Probeta + Agua (gr) | 1120.09 | 831.05 |
| Peso de la Muestra Sumergida (gr) | 324.11 | 332.38 |
| Peso del Agua Desplazada (gr) | 201.10 | 208.49 |
| Peso Específico Aparente a temperatura de ensayo (gr/cm3) | 2.580 | 2.563 |
| Factor de corrección por temperatura | 1.0007671 | 1.0007671 |
| Peso Específico Aparente (gr/cm3) | 2.582 | 2.565 |

% de Error = 0.67%
< 2% Ok!



PESO ESPECÍFICO DE GRAVAS = 2.57 gr/cm3

Laboratorio de Suelos y Materiales
PROYECTOS & CONSTRUCCIONES SILVER S.C.R.L.
Sergio Ivan Liendo Vargas
Ingeniero Civil

Fuente: PRO&CON SILVER S.C.R.L, Laboratorio de Suelos y Materiales

Anexo C-5.0: Compactación



PRO&CON SILVER S.C.R.L.

- LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
- Barrio Profesional c-1- Cusco, Telf: 084-254730, Cel. Movistar: 984-621489, Claro: 984-727700

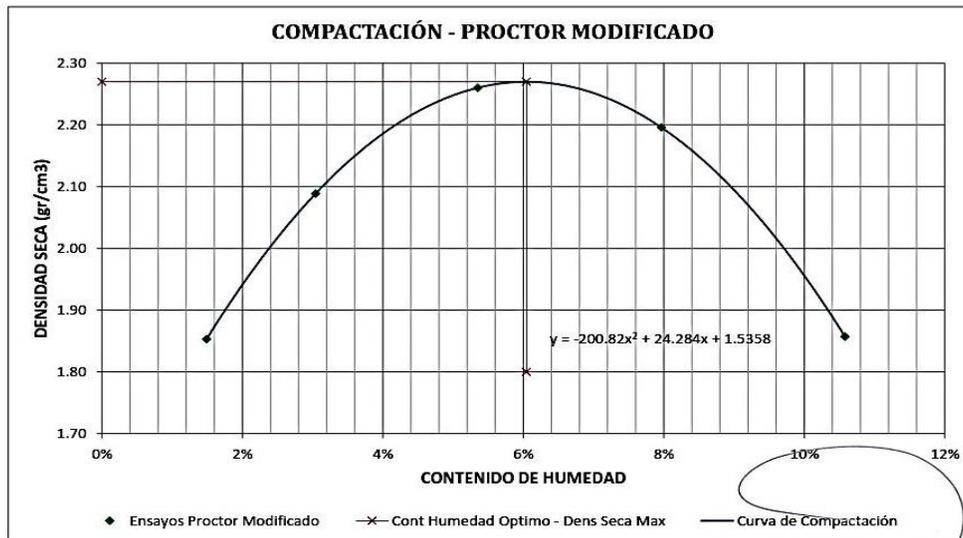
Proyecto: Mejoramiento de la Transitabilidad Vehicular y Peatonal de las Vías No Pavimentadas de la margen derecha del Rio Huatanay, entre la APV Agua Buena y la APV Monterey del Distrito de San Sebastian, Cusco-Cusco
Ubicación: Margen Derecha Rio Huatanay-Distrito San Sebastian - Cusco
Solicita: Municipalidad Distrital de San Sebastian
Muestra: Cantera Sencca
Fecha: viernes, 22 de julio de 2016

RELACIONES HUMEDAD - DENSIDAD (PRÓCTOR MODIFICADO)

MTC E 115 - 2000, Basado en la Norma ASTM D-1557 y AASHTO T-180

| DATOS GENERALES |
|--|
| Número de Capas = 5 |
| Golpes por Capa = 56 |
| Peso del Martillo = 4.54 Kg |
| Altura de Caída del Martillo= 45.72 cm |

| DENSIDAD DE LA MUESTRA | MUESTRA 01 | MUESTRA 02 | MUESTRA 03 | MUESTRA 04 | MUESTRA 05 | | | | | |
|--|------------|------------|------------|------------|------------|-------|--------|--------|--------|--------|
| Número de Proctor Utilizado | P-7 | P-7 | P-7 | P-7 | P-7 | | | | | |
| Diámetro del Molde (cm) | 15.24 | 15.24 | 15.24 | 15.24 | 15.24 | | | | | |
| Altura del molde (cm) | 11.64 | 11.64 | 11.64 | 11.64 | 11.64 | | | | | |
| Volumen del Molde (cm ³) | 2123.31 | 2123.31 | 2123.31 | 2123.31 | 2123.31 | | | | | |
| Peso del Molde (gr) | 6140.00 | 6140.00 | 6140.00 | 6140.00 | 6140.00 | | | | | |
| Peso del Molde + Muestra Compactada (gr) | 10133.00 | 10710.00 | 11196.00 | 11174.00 | 10500.00 | | | | | |
| Peso de la Muestra Compactada (gr) | 3993.00 | 4570.00 | 5056.00 | 5034.00 | 4360.00 | | | | | |
| Densidad Húmeda (gr/cm ³) | 1.88 | 2.15 | 2.38 | 2.37 | 2.05 | | | | | |
| Densidad Seca (gr/cm ³) | 1.85 | 2.09 | 2.26 | 2.20 | 1.86 | | | | | |
| CONTENIDO DE HUMEDAD | Arriba | Abajo | Arriba | Abajo | Arriba | Abajo | Arriba | Abajo | Arriba | Abajo |
| Peso de Capsula (gr) | 19.95 | 16.59 | 18.71 | 16.35 | 18.09 | 18.48 | 15.60 | 18.79 | 16.09 | 17.16 |
| Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr) | 65.56 | 77.30 | 95.33 | 101.37 | 93.07 | 96.26 | 118.47 | 126.87 | 86.79 | 84.55 |
| Peso de Capsula + Muestra Seca (gr) | 64.95 | 76.33 | 92.78 | 99.18 | 89.03 | 92.55 | 110.49 | 119.31 | 80.09 | 78.04 |
| Peso del Agua (gr) | 0.61 | 0.97 | 2.55 | 2.19 | 4.04 | 3.71 | 7.98 | 7.56 | 6.70 | 6.51 |
| Peso de la Muestra Seca (gr) | 45.00 | 59.74 | 74.07 | 82.83 | 70.94 | 74.07 | 94.89 | 100.52 | 64.00 | 60.88 |
| Contenido de Humedad | 1.36% | 1.62% | 3.44% | 2.64% | 5.69% | 5.01% | 8.41% | 7.52% | 10.47% | 10.69% |
| Contenido de Humedad Promedio | 1.49% | 3.04% | 5.35% | 7.97% | 10.58% | | | | | |



| |
|--|
| DENSIDAD SECA MÁXIMA = 2.27 gr/cm³ CONTENIDO DE HUMEDAD ÓPTIMO = 6.05% |
|--|

Laboratorio de Suelos y Materiales
 PROYECTOS & CONSTRUCCIONES SILVER S.C.R.L.
 Sergio Ivan Liendo Vargas
 Ingeniero Civil

Fuente: PRO&CON SILVER S.C.R.L, Laboratorio de Suelos y Materiales

Anexo C-5: CBR



PRO&CON SILVER S.C.R.L.
 - LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
 - Barrio Profesional e- I- Cusco, Telf: 084-254730, Cel. Movistar: 984-621489, Claro: 984-727700

Proyecto: Mejoramiento de la Transitabilidad Vehicular y Peatonal de las Vías No Pavimentadas de la margen derecha del Rio Huatanay, entre la APV Agua Buena y la APV Monterey del Distrito de San Sebastian, Cusco-Cusco
 Ubicación: Margen Derecha Rio Huatanay-Distrito San Sebastian - Cusco
 Solicita: Municipalidad Distrital de San Sebastian
 Muestra: Cantera Sencca
 Fecha: viernes, 22 de julio de 2016

RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR)
 MTC E 132 - 2000, Basado en la Norma ASTM D-1883 y AASHTO T-193

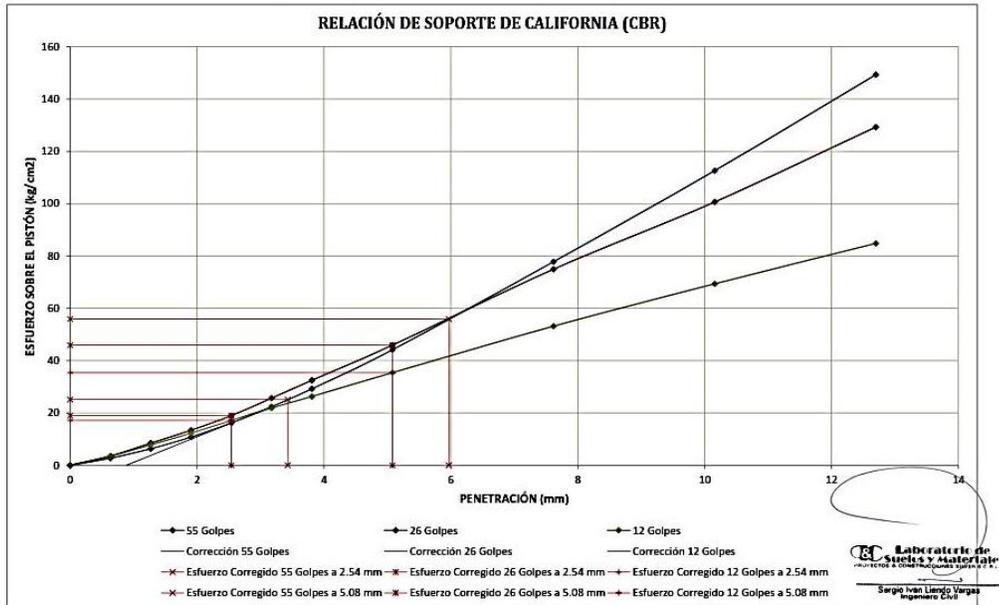
| DATOS GENERALES | | DIMENSIONES DEL MOLDE | |
|-----------------------------------|---|---------------------------------|--|
| Densidad Seca Máxima = 2.27 cm3 | Peso del Martillo = 4.54 Kg | Diámetro = 15.24 cm | |
| Contenido Humedad Óptimo = 6.05% | Altura de Caída del Martillo = 45.72 cm | Altura = 17.78 cm | |
| Contenido Humedad Natural = 3.63% | Número de Capas = 5 | Altura de la Muestra = 11.64 cm | |
| Área del Pistón = 20.27 cm2 | Altura del Disco Espaciador = 6.14 cm | Volumen = 2123.85 cm3 | |

| DATOS DEL ENSAYO DE COMPACTACION | MUESTRA 01 | | | MUESTRA 02 | | | MUESTRA 03 | | |
|--|---------------------------|----|--|------------|----|--|------------|----|--|
| | Número de Golpes por Capa | 55 | | | 26 | | | 12 | |
| Peso del Molde (gr) | 7878.00 | | | 7878.00 | | | 7878.00 | | |
| Peso del Molde + Muestra Compactada (gr) | 12926.00 | | | 12756.00 | | | 12578.00 | | |
| Peso de la Muestra Compactada (gr) | 5048.00 | | | 4878.00 | | | 4700.00 | | |
| Densidad Húmeda (gr/cm3) | 2.38 | | | 2.30 | | | 2.21 | | |
| Densidad Seca (gr/cm3) | 2.24 | | | 2.17 | | | 2.09 | | |

| CONTENIDO DE HUMEDAD | | | | | | | | | |
|---------------------------------------|--------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|-------|-------|
| | Arriba | Medio | Abajo | Arriba | Medio | Abajo | Arriba | Medio | Abajo |
| Peso de Capsula (gr) | 15.68 | 20.28 | 15.74 | 18.42 | 15.91 | 17.42 | 14.72 | 18.12 | 15.74 |
| Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr) | 97.77 | 83.75 | 86.96 | 94.92 | 73.88 | 81.30 | 98.59 | 66.31 | 89.31 |
| Peso de Capsula + Muestra Seca (gr) | 93.13 | 80.09 | 83.00 | 90.63 | 70.56 | 77.78 | 93.92 | 63.56 | 85.28 |
| Peso del Agua (gr) | 4.64 | 3.66 | 3.96 | 4.29 | 3.32 | 3.52 | 4.67 | 2.75 | 4.03 |
| Peso de la Muestra Seca (gr) | 77.45 | 59.81 | 67.26 | 72.21 | 54.65 | 60.36 | 79.20 | 45.44 | 69.54 |
| Contenido de Humedad | 5.99% | 6.12% | 5.89% | 5.94% | 6.08% | 5.83% | 5.90% | 6.05% | 5.80% |
| Contenido de Humedad Promedio | 6.00% | | | 5.95% | | | 5.91% | | |

Constante del Anillo de Carga
 $Carga (kgf) = -2.46 + 3.35 \cdot X - 1.57 \cdot 10^{-4} \cdot X^2 + 4.16 \cdot 10^{-8} \cdot X^3$

| DATOS DEL ENSAYO DE PENETRACIÓN (CBR) | | | MUESTRA 01 | | | | MUESTRA 02 | | | | MUESTRA 03 | | | |
|---------------------------------------|--------------|----------------|------------|-----------|----------------|--------|------------|-----------|----------------|--------|------------|-----------|----------------|--------|
| Carga Unitaria Patrón (kg/cm2) | Dial *0.001" | Penetración mm | Dial | Fuerza kg | Esfuer. kg/cm2 | CBR % | Dial | Fuerza kg | Esfuer. kg/cm2 | CBR % | Dial | Fuerza kg | Esfuer. kg/cm2 | CBR % |
| 0 | 0.000 | 0 | 0 | 0.00 | 0.00 | | 0 | 0.00 | 0.00 | | 0 | 0.00 | 0.00 | |
| 25 | 0.635 | 17 | 17 | 54.44 | 2.69 | | 22 | 71.16 | 3.51 | | 22 | 71.16 | 3.51 | |
| 50 | 1.270 | 39 | 39 | 127.95 | 6.31 | | 52 | 171.32 | 8.45 | | 48 | 157.98 | 7.79 | |
| 75 | 1.905 | 66 | 66 | 217.97 | 10.75 | | 82 | 271.21 | 13.38 | | 75 | 247.92 | 12.23 | |
| 70.31 | 100 | 2.540 | 99 | 327.69 | 16.17 | 23.00% | 116 | 384.09 | 18.95 | 26.95% | 105 | 347.61 | 17.15 | 24.39% |
| 125 | 3.175 | 137 | 137 | 453.65 | 22.38 | | 157 | 519.78 | 25.65 | | 134 | 443.72 | 21.89 | |
| 150 | 3.810 | 179 | 179 | 592.40 | 29.23 | | 199 | 658.30 | 32.48 | | 161 | 532.99 | 26.30 | |
| 105.46 | 200 | 5.080 | 271 | 894.69 | 44.14 | 41.86% | 282 | 930.69 | 45.92 | 43.54% | 217 | 717.52 | 35.40 | 33.57% |
| | 300 | 7.620 | 481 | 1577.20 | 77.82 | | 463 | 1519.06 | 74.95 | | 327 | 1077.66 | 53.17 | |
| | 400 | 10.160 | 701 | 2283.07 | 112.64 | | 625 | 2040.12 | 100.66 | | 428 | 1405.84 | 69.36 | |
| | 500 | 12.700 | 935 | 3026.54 | 149.32 | | 807 | 2620.61 | 129.30 | | 525 | 1719.04 | 84.81 | |



Fuente: PRO&CON SILVER S.C.R.L, Laboratorio de Suelos y Materiales

Anexo C-5.1: CBR



PRO&CON SILVER S.C.R.L.

- LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
- Barrio Profesional c-1- Cusco, Telf: 084-254730, Cel. Movistar: 984-621489, Claro: 984-727700

Proyecto: Mejoramiento de la Transitabilidad Vehicular y Peatonal de las Vías No Pavimentadas de la margen derecha del Rio Huatanay, entre la APV Agua Buena y la APV Monterey del Distrito de San Sebastian, Cusco-Cusco

Ubicación: Margen Derecha Rio Huatanay-Distrito San Sebastian - Cusco

Solicita: Municipalidad Distrital de San Sebastian

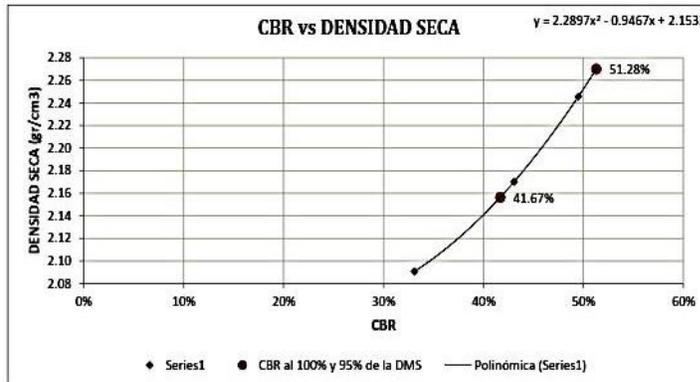
Muestra: Cantera Sencca

Fecha: viernes, 22 de julio de 2016

RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR)

MTC E 132 - 2000, Basado en la Norma ASTM D-1883 y AASHTO T-193

| CORRECCIONES | MUESTRA 01 | | | MUESTRA 02 | | | MUESTRA 03 | | |
|-----------------------|---------------|---------------|------------|---------------|---------------|------------|---------------|---------------|------------|
| Carga Unitaria Patrón | Penetr Correg | Esfuer Correg | CBR Correg | Penetr Correg | Esfuer Correg | CBR Correg | Penetr Correg | Esfuer Correg | CBR Correg |
| kg/cm2 | mm | kg/cm2 | % | mm | kg/cm2 | % | mm | kg/cm2 | % |
| 70.31 | 3.572 | 19.42 | 27.62% | 3.922 | 18.85 | 26.81% | 4.354 | 16.46 | 23.42% |
| 105.46 | 6.112 | 52.19 | 49.49% | 6.462 | 45.40 | 43.05% | 6.894 | 34.90 | 33.09% |



RESULTADOS

| Número de Golpes | Expansión | Absorción |
|------------------|-----------|-----------|
| 55 | 0.03% | 0.34% |
| 26 | 0.04% | 0.40% |
| 12 | 0.04% | 0.42% |

| Número de Golpes | CBR | Densidad Seca |
|------------------|--------|---------------|
| 55 | 49.49% | 2.25 gr/cm3 |
| 26 | 43.05% | 2.17 gr/cm3 |
| 12 | 33.09% | 2.09 gr/cm3 |

| | |
|-------------------------------|------|
| Densidad Seca Máxima (gr/cm3) | 2.27 |
| 95% de la DSM (gr/cm3) | 2.16 |

| | |
|-----------------------|--------|
| CBR al 100% de la DSM | 51.28% |
| CBR al 95% de la DSM | 41.67% |

Comprobación de resultados de CBR a 2.54 mm y 5.08 mm

CBR (2.54 mm) > CBR (5.08 mm)

27.62% > 49.49% FALSO

OBSERVACIONES : EL CBR DE DISEÑO SERÁ EL CORRESPONDIENTE A 5.08 mm

CBR: 51.28%

Laboratorio de Suelos y Materiales
PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN S.A.S. S.C.R.L.
Sergio Ivan Llamas Vargas
Ingeniero Civil

Fuente: PRO&CON SILVER S.C.R.L, Laboratorio de Suelos y Materiales

“Evaluación de los residuos reciclados de las ladrilleras de San Jerónimo, para la aplicación e sub base de pavimentos, en la ciudad del Cusco – 2018

Anexo C-5.2: CBR



PRO&CON SILVER S.C.R.L.
 - LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
 - Barrio Profesional c-1- Cusco, Tel: 084-254730, Cel. Movistar: 984-621489, Claro: 984-727700

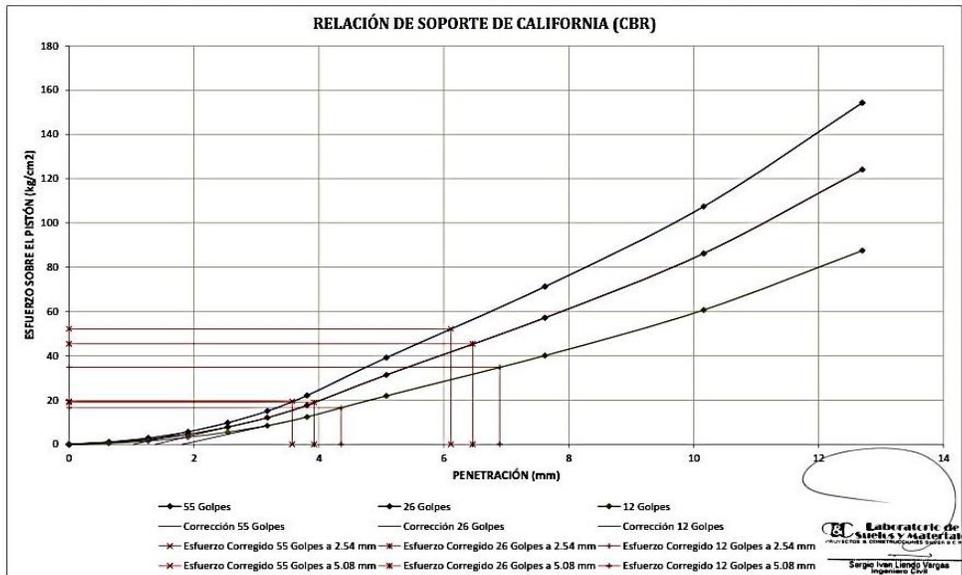
Proyecto: Mejoramiento de la Transitabilidad Vehicular y Peatonal de las Vías No Pavimentadas de la margen derecha del Rio Huatanay, entre la APV Agua Buena y la APV Monterey del Distrito de San Sebastian, Cusco-Cusco
 Ubicación: Margen Derecha Rio Huatanay-Distrito San Sebastian - Cusco
 Solicita: Municipalidad Distrital de San Sebastian
 Muestra: Cantera Senca
 Fecha: viernes, 22 de julio de 2016

RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR)
 MTC E 132 - 2000, Basado en la Norma ASTM D-1883 y AASHTO T-193

| DATOS DEL ENSAYO DE ABSORCIÓN | | MUESTRA 04 | | | MUESTRA 05 | | | MUESTRA 06 | | |
|---|--|------------|--------|-------|------------|-------|-------|------------|-------|-------|
| Peso del Molde (gr) | | 6832.00 | | | 7240.00 | | | 7255.00 | | |
| Peso del Molde + Muestra Compactada, antes de la inmersión (gr) | | 11884.00 | | | 12120.00 | | | 11955.00 | | |
| Peso del Molde + Muestra Compactada, después de la inmersión (gr) | | 11902.00 | | | 12140.00 | | | 11975.00 | | |
| Peso del Agua Absorbida (gr) | | 18.00 | | | 20.00 | | | 20.00 | | |
| Peso de la Muestra Compactada, antes de la inmersión (gr) | | 5052.00 | | | 4880.00 | | | 4700.00 | | |
| Peso de la Muestra Compactada, después de la inmersión (gr) | | 5070.00 | | | 4900.00 | | | 4720.00 | | |
| Peso de la Muestra Seca (gr) | | 4769.32 | | | 4608.98 | | | 4440.41 | | |
| Porcentaje de Absorción | | 0.38% | | | 0.43% | | | 0.45% | | |
| Densidad Seca (gr/cm3) | | 2.25 | | | 2.17 | | | 2.09 | | |
| CONTENIDO DE HUMEDAD DESPUES DE LA INMERSIÓN | | | | | | | | | | |
| | | Arriba | Medio | Abajo | Arriba | Medio | Abajo | Arriba | Medio | Abajo |
| Peso de Capsula (gr) | | 18.70 | 16.30 | 27.55 | 26.20 | 27.45 | 26.50 | 29.30 | 27.90 | 25.40 |
| Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr) | | 88.08 | 102.34 | 91.28 | 80.94 | 97.66 | 92.01 | 77.55 | 86.62 | 83.19 |
| Peso de Capsula + Muestra Seca (gr) | | 83.97 | 97.30 | 87.45 | 77.70 | 93.55 | 88.05 | 74.70 | 83.20 | 79.70 |
| Peso del Agua (gr) | | 4.11 | 5.04 | 3.83 | 3.24 | 4.11 | 3.96 | 2.85 | 3.42 | 3.49 |
| Peso de la Muestra Seca (gr) | | 65.27 | 81.00 | 59.90 | 51.50 | 66.10 | 61.55 | 45.40 | 55.30 | 54.30 |
| Contenido de Humedad | | 6.30% | 6.22% | 6.39% | 6.29% | 6.22% | 6.43% | 6.28% | 6.18% | 6.43% |
| Contenido de Humedad Promedio | | 6.30% | | | 6.31% | | | 6.30% | | |
| Porcentaje de Absorción | | 0.31% | | | 0.37% | | | 0.38% | | |
| Porcentaje de Absorción Promedio | | 0.34% | | | 0.40% | | | 0.42% | | |

| DATOS DEL ENSAYO DE EXPANSION | | | MUESTRA 04 | | | MUESTRA 05 | | | MUESTRA 06 | | |
|-------------------------------|-------|---------------------------|------------|---------|---------|------------|---------|---------|------------|---------|---------|
| Fecha | Hora | Tiempo Transcurrido Horas | Dial | Deform. | % de | Dial | Deform. | % de | Dial | Deform. | % de |
| | | | *0.001" | mm | Expans. | *0.001" | mm | Expans. | *0.001" | mm | Expans. |
| 12/09/2015 | 11:00 | 0 h 00 min | 0 | 0.000 | 0.00% | 0 | 0.000 | 0.00% | 0 | 0.000 | 0.00% |
| 13/09/2015 | 12:00 | 25 h 00 min | 1 | 0.025 | 0.02% | 1 | 0.025 | 0.02% | 1 | 0.025 | 0.02% |
| 14/09/2015 | 12:00 | 49 h 00 min | 1 | 0.025 | 0.02% | 1 | 0.025 | 0.02% | 1 | 0.025 | 0.02% |
| 15/09/2015 | 12:00 | 73 h 00 min | 1.5 | 0.038 | 0.03% | 2 | 0.051 | 0.04% | 2 | 0.051 | 0.04% |
| 16/09/2015 | 10:00 | 95 h 00 min | 1.5 | 0.038 | 0.03% | 2 | 0.051 | 0.04% | 2 | 0.051 | 0.04% |

| DATOS DEL ENSAYO DE PENETRACIÓN (CBR) | | | MUESTRA 01 | | | | MUESTRA 02 | | | | MUESTRA 03 | | | |
|---------------------------------------|---------|-------------|------------|---------|---------|--------|------------|---------|---------|--------|------------|---------|---------|--------|
| Carga Unitaria Patrón (kg/cm2) | Dial | Penetración | Dial | Fuerza | Esfuer. | CBR | Dial | Fuerza | Esfuer. | CBR | Dial | Fuerza | Esfuer. | CBR |
| | *0.001" | mm | | kg | kg/cm2 | % | | kg | kg/cm2 | % | | kg | kg/cm2 | % |
| 0 | 0.000 | 0 | 0.00 | 0.00 | | | 0 | 0.00 | 0.00 | | 0 | 0.00 | 0.00 | |
| 25 | 0.635 | 7 | 20.98 | 1.04 | | | 6 | 17.63 | 0.87 | | 4 | 10.94 | 0.54 | |
| 50 | 1.270 | 18 | 57.79 | 2.85 | | | 14 | 44.41 | 2.19 | | 10 | 31.02 | 1.53 | |
| 75 | 1.905 | 35 | 114.60 | 5.65 | | | 28 | 91.22 | 4.50 | | 20 | 64.48 | 3.18 | |
| 70.31 | 100 | 2.540 | 60 | 197.98 | 9.77 | 13.89% | 48 | 157.98 | 7.79 | 11.09% | 34 | 111.26 | 5.49 | 7.81% |
| | 125 | 3.175 | 92 | 304.44 | 15.02 | | 74 | 244.60 | 12.07 | | 52 | 171.32 | 8.45 | |
| | 150 | 3.810 | 135 | 447.03 | 22.06 | | 108 | 357.56 | 17.64 | | 76 | 251.25 | 12.40 | |
| 105.46 | 200 | 5.080 | 240 | 793.07 | 39.13 | 37.10% | 192 | 635.25 | 31.34 | 29.72% | 134 | 443.72 | 21.89 | 20.76% |
| | 300 | 7.620 | 440 | 1444.69 | 71.28 | | 352 | 1159.10 | 57.19 | | 246 | 812.76 | 40.10 | |
| | 400 | 10.160 | 668 | 2177.68 | 107.44 | | 534 | 1748.01 | 86.24 | | 374 | 1230.66 | 60.72 | |
| | 500 | 12.700 | 967 | 3127.80 | 154.32 | | 774 | 2515.67 | 124.12 | | 542 | 1773.74 | 87.51 | |



Fuente: PRO&CON SILVER S.C.R.L, Laboratorio de Suelos y Materiales

Anexo C-6: Abrasión



PRO&CON SILVER S.C.R.L.

- LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
 - Barrio Profesional c-1- Cusco, Telf: 084-254730, Cel. Movistar: 984-621489, Claro: 984-727700

Proyecto: Mejoramiento de la Transitabilidad Vehicular y Peatonal de las Vías No Pavimentadas de la margen derecha del Río Huatanay, entre la APV Agua Buena y la APV Monterey del Distrito de San Sebastian, Cusco-Cusco
 Ubicación: Margen Derecha Río Huatanay-Distrito San Sebastian - Cusco
 Solicita: Municipalidad Distrital de San Sebastian
 Muestra: Cantera Sencca
 Fecha: viernes, 22 de julio de 2016

DESGASTE POR ABRASIÓN EN LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES

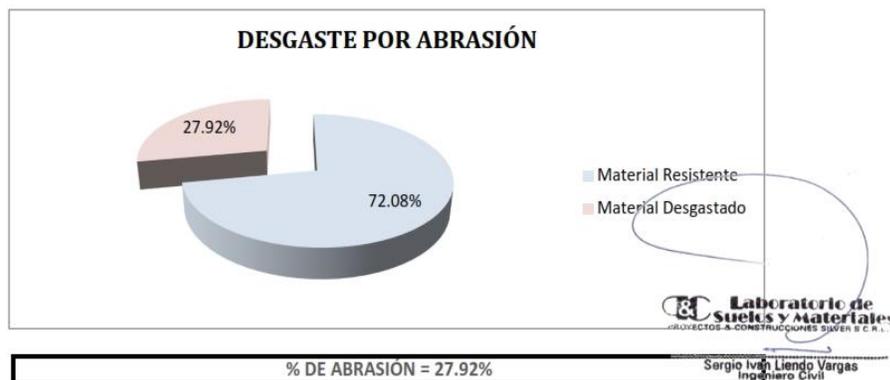
MTC E 207 - 2000, Basado en la Norma ASTM C-131, ASTM C-535 y AASHTO T-96

| DATOS DE LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES | DATOS DE LA CARGA ABRASIVA (Esferas) |
|---|--------------------------------------|
| Longitud Interior (cm) = 50.80 | Diámetro Promedio (mm) = 46.65 |
| Diámetro Interior (cm) = 71.10 | Peso Promedio (gr) = 416.06 |
| Velocidad de Giro del Cilindro (rpm) = 33 | Número de Esferas = 8 |
| Número total de vueltas = 500 | |

| GRANULOMETRÍA SEGÚN TIPO DE GRADACIÓN | | |
|---------------------------------------|----------------|------------------|
| Pasa Tamiz | Retiene Tamiz | Gradación C |
| 3" (75 mm) | 2½" (63 mm) | - |
| 2½" (63 mm) | 2" (50 mm) | - |
| 2" (50 mm) | 1½" (37.5 mm) | - |
| 1½" (37.5 mm) | 1" (25 mm) | - |
| 1" (25 mm) | ¾" (19 mm) | - |
| ¾" (19 mm) | ½" (12.5 mm) | - |
| ½" (12.5 mm) | 3/8" (9.5 mm) | - |
| 3/8" (9.5 mm) | ¼" (6.3 mm) | 2500 ± 10 |
| ¼" (6.3 mm) | Nº 4 (4.75 mm) | 2500 ± 10 |
| Nº 4 (4.75 mm) | Nº 8 (2.36 mm) | - |
| Total (gr) | | 5000 ± 10 |

| PESO DE LA MUESTRA SECA ANTES DEL ENSAYO |
|--|
| - |
| - |
| - |
| - |
| - |
| - |
| - |
| - |
| 2500.00 |
| 2500.00 |
| - |
| 5000.00 |

| DATOS DEL ENSAYO | |
|---|---------|
| Peso de la Muestra seca retenida en el tamiz Nº 12, después del ensayo (gr) | 3604.00 |
| Peso que pasa el tamiz Nº 12, después del ensayo (gr) | 1396.00 |



Fuente: PRO&CON SILVER S.C.R.L, Laboratorio de Suelos y Materiales

Anexo C-7: Equivalente de arena



PRO&CON SILVER S.C.R.L.

- LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
- Barrio Profesional c-1- Cusco, Telf: 084-254730, Cel. Movistar: 984-621489, Claro: 984-727700

Proyecto: Mejoramiento de la Transitabilidad Vehicular y Peatonal de las Vías No Pavimentadas de la margen derecha del Rio Huatanay, entre la APV Agua Buena y la APV Monterey del Distrito de San Sebastian, Cusco-Cusco
Ubicación: Margen Derecha Rio Huatanay-Distrito San Sebastian - Cusco
Solicita: Municipalidad Distrital de San Sebastian
Muestra: Cantera Sencca
Fecha: viernes, 22 de julio de 2016

EQUIVALENTE DE ARENA

MTC E 114 - 2000, Basado en la Norma ASTM D-2419 y AASHTO T-176

| DATOS DE LA SOLUCIÓN STOCK O SOLUCIÓN MADRE | |
|--|--|
| Tipo Cloruro de Calcio (Ca Cl ₂) | |
| CANTIDADES, REACTIVOS Y MATERIALES PARA SU PREPARACIÓN | |
| CANTIDAD | REACTIVOS Y MATERIALES |
| 454 gr (1 lb) | Cloruro de Calcio Anhidro |
| 2050 gr (1640 ml) | Glicerina QP o USP |
| 47gr (45 ml) | Formaldehido (el solución al 40% en volumen) |
| 0.5 gal (1893 ml) | Agua Destilada |

| DATOS DEL RECIPIENTE METÁLICO | |
|-------------------------------|--|
| Diámetro Interior (mm) = 56 | |
| Profundidad (mm) = 36 | |
| Capacidad (ml) = 88.67 | |

| DATOS DE LA SOLUCIÓN DE TRABAJO | |
|--------------------------------------|----------|
| REACTIVOS Y MATERIALES | CANTIDAD |
| Solución Stock o Solución Madre (ml) | 88.67 |
| Agua Destilada (ml) | 3696.74 |

| DATOS DE LA PROBETA | |
|---------------------------------------|--|
| Diámetro Interior (mm) = 31.75 | |
| Altura (mm) = 430 | |
| Graduado en mm hasta una altura = 380 | |

| DATOS DEL TUBO IRRIGADOR | |
|----------------------------------|--|
| Diámetro Exterior (mm) = 6.35 | |
| Espesor del Material (mm) = 0.89 | |
| Longitud (mm) = 508 | |

| DATOS DEL AGITADOR | |
|---|--|
| Recorrido de una Carrera(mm) = 203 | |
| Velocidad de agitación (ciclos/min) = 175 | |
| Tiempo de agitación (seg) = 45 | |

| DATOS DEL PISÓN | |
|---|--|
| Peso del Pison (gr) = 998.95 | |
| Longitud de la barra metálica (mm) = 435 | |
| Longitud base al disco indicador (mm) = 254 | |

| DATOS DEL ENSAYO | |
|---|--|
| Lectura de la Arcilla = 319.00 mm | |
| Lectura del Disco Indicador = 368.00 mm | |
| Lectura de la Arena = 114.00 mm | |



EQUIVALENTE DE ARENA = 35.74%

Fuente: PRO&CON SILVER S.C.R.L, Laboratorio de Suelos y Materiales

Anexo C-8: Sales solubles



PRO&CON SILVER S.C.R.L.

- LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES

Barrio Profesional C-1 - Cusco RPC: 984727700, Mov.: 984621489 RPM: *554810 Telf: 084-254730

Proyecto: Mejoramiento de la Transitabilidad Vehicular y Peatonal de las Vías No Pavimentadas de la margen derecha del Rio Huatanay, entre la APV Agua Buena y la APV Monterey del Distrito de San Sebastian, Cusco-Cusco

Ubicación: PPJJ Independencia - Cusco

Solicita: MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DEL CUSCO

Muestra: AGREGADO

Fecha: 16/09/2015

| Muestra | DESCRIPCION |
|---------|-------------|
| M1 | AGREGADO |

CONTENIDO DE SALES SOLUBLES

MTC E 219 - 2000, Basado en la norma LNY - 8 (Chile)

| DATOS DEL REACTIVO UTILIZADO | |
|------------------------------|--|
| Agua destilada | |

| DATOS DEL ENSAYO | | | |
|---------------------------|----------|-----|-----|
| MUESTRA | AGREGADO | | |
| | 1° | 2° | 3° |
| Peso de muestra (gr) | 100 | 100 | 100 |
| Volumen de agua destilada | 100 | 100 | 100 |
| Volumen Ensayado | 50 | 50 | 50 |

| TABLA DE RESULTADOS | | | | | | |
|---------------------|----------|----------------------------|--------|--------|----------|------------------|
| MUESTRA | AGREGADO | peso de sales solubles (g) | | | PROMEDIO | SALES SOLUBLES % |
| | | 1° | 2° | 3° | | |
| M1 | AGREGADO | 0.0541 | 0.0542 | 0.0541 | 0.054 | 0.108 |

Laboratorio de Suelos y Materiales
PROYECTOS & CONSTRUCCIONES SILVER S.C.R.L.
Sergio Ivan Liendo Vargas
Ingeniero Civil

Fuente: PRO&CON SILVER S.C.R.L, Laboratorio de Suelos y Materiales

Anexo D: Cálculo de rendimiento para el análisis de precios unitarios de los residuos reciclados de ladrillo

Cálculo del rendimiento del transporte a la chancadora

1.1 Cálculo de la distancia promedio

Distancia Promedio (Dp)

$$Dp (km) = \frac{D_{min} + D_{máx}}{2}$$

Donde:

D_{min}: distancia mínima (referida a la ubicación de la primera ladrillera)

D_{máx}: distancia máxima (referida a la ubicación de la ladrillera más lejana)

- Distancia máxima (D_{máx})= 1.0 km
- Distancia Min (D_{min}) = 0.1 km

$$Dp (km) = \frac{D_{min} + D_{máx}}{2}$$

$$Dp (km) = \frac{1 + 0.1}{2} = 0.55 \text{ km}$$

1.2 Cálculo del tiempo recorrido

Figura 1 Velocidad, tiempo en obra

| Descripción | Símbolo | Indicador | Unidad |
|--------------------------------|----------|-----------|----------------|
| Volumen del camión | (Vol. c) | 15 | m ³ |
| Velocidad camión cargado | (Vc) | 15 | Km/h |
| Velocidad camión descargado | (Vd) | 20 | km/h |
| Tiempo de carga de material | (Tp) | 8.57 | min |
| Tiempo de descarga de material | (Td) | 2 | min |
| Tiempo de trabajo Diario | (TD) | 480 (1) | min |
| Eficiencia | (Ef.) | 90% | |
| Esponjamiento | (Es) | 1.2 | |

(1): El cálculo del trabajo diario: 8 horas

Fuente: Datos obtenidos de Provias Nacional-MTC para un camión de 15 m³

- **Tiempo de Recorrido (Tr) = Tp + Td + $\frac{Dp \times 60}{Vc} + \frac{Dp \times 60}{Vd}$**
Tr = 14.42 min
- **Tiempo Útil de Trabajo (Tu) = TD x Ef**
Tu = 432 min
- **Número de Viajes diarios (Nv) = $\frac{Tu}{Tr}$**
Nv = 30 Viajes
- **Volumen transportado (Vol.T) = Nv x Vol. c = 30 x 15**
Vol. T = 450 m³/ día
- **Rendimiento = $\frac{Vol.T}{Es} = \frac{450}{1.2} = 375 \text{ m}^3$**

Fuente: Elaboración propia

Anexo E: Panel fotográfico

Fotografía 1: Recolección de residuos de ladrillos



Fuente: Elaboración propia, San Jerónimo, Ladrillera Mirador.

Fotografía 2: Triturado de material reciclado



Fuente: Elaboración propia, Parque industrial, ladrillera Latesan

Fotografía 4: Cuarteo de material reciclado



Fotografía 3: Elección de muestras



Fuente: Elaboración propia, ladrillera Latera

Fotografía 5: Juego de tamices



Fuente: Elaboración propia

Fotografía 6: Distribución granulométrica



Fuente: Elaboración propia

Fotografía 7: Colocación de muestra en la máquina los ángeles



Fuente: Elaboración propia

Fotografía 8: Tamizado de muestra en el tamiz Nro. 12



Fuente: Elaboración Propia

Fotografía 9: Ensayo de contenido de humedad



Fuente: Elaboración propia.

Fotografía 10: Compactación de muestra, proctor modificado (56 Golpes)



Fuente: Elaboración Propia

Fotografía 11: Muestra Enrazada



Fuente: Elaboración Propia

Fotografía 12: Compactación, ensayo CBR



Fuente: Elaboración Propia

Fotografía 13: Muestra Enrazada



Fuente: Elaboración Propia

Fotografía 14: Muestras sumergidas



Fuente: Elaboración Propia

Fotografía 15: Muestras sometidas a Penetración



Fuente: Elaboración propia

Fotografía 16: Ensayo de límite líquido



Nota: (a) Mezcla de material con 5% de agua, (b) muestra enraizada en la cuchara de Casagrande
Fuente: Elaboración propia

Fotografía 17: Mezcla con diferentes porcentajes de humedad



Nota (a): Muestra con 5% de humedad, (b): muestra con 7% de humedad, (c) muestra con 15% de humedad.
Fuente: Elaboración propia.

Fotografía 18: Muestra sobre coccionada



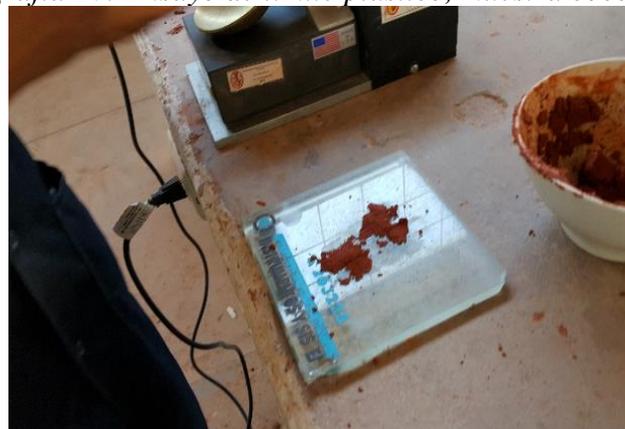
Nota: (a) muestra enrazada, (b) muestra acanalada, Fuente: Elaboración Propia

Fotografía 19: Moldeado de la Mezcla de residuo de ladrillo coccionado (CC)



Fuente: Elaboración Propia

Fotografía 20: Ensayo de límite plástico, muestra coccionada



Fuente: Elaboración propia

Fotografía 21: Ensayo de límite plástico, muestra sobre coccionada



Fuente: Elaboración propia

Fotografía 22: Determinación del peso contante



Fuente: Elaboración propia

Fotografía 23: Ensayo de equivalente de arena



Nota: (a) Medición de la altura del envase contenido de solución de trabajo, (b) Lectura de altura de arcilla
Fuente: Elaboración propia

Fotografía 24: Preparación de la muestra representativa para el ensayo de sales solubles



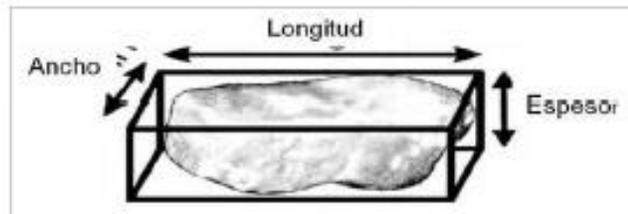
Muestra: ladrillera Mirador, ladrillera Latesa, ladrillera Yuraqñahui y ladrillera Latesan
Fuente: Elaboración propia

Fotografía 25: Material retenido en la malla 1/2" y 3/8"



Fuente: Elaboración propia

Fotografía 26: Selección de dimensiones



Fuente: Manual de ensayo de materiales MTC E-223, pág. 391

Fotografía 27: Calibrador de partículas chatas y alargadas



Fuente: Elaboración propia

Fotografía 28: Muestra saturada por 24 horas



Fuente: Elaboración propia

Fotografía 29: Material en estado saturado superficialmente seco



Fuente: Elaboración propia

Fotografía 30: Compactación para el ensayo de módulo de reacción



Fuente: Elaboración propia

Fotografía 31: Máquina de compresión diagonal



Fuente: Elaboración propia.

Fotografía 32: Ensayo de proctor modificado en condiciones críticas

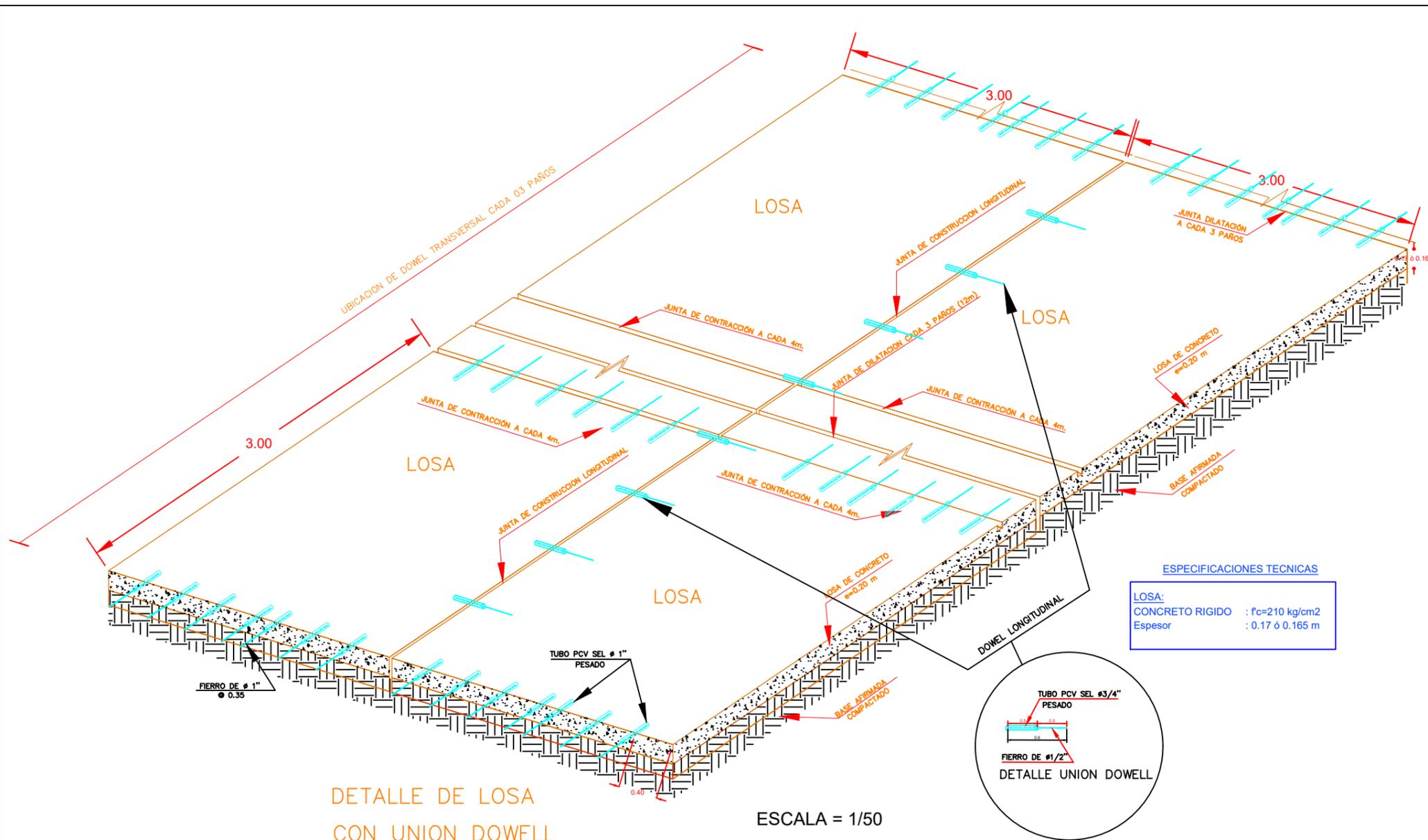


- (a) Muestra con porcentaje inicial de humedad del 4% del peso inicial, (b) Muestra con porcentaje de humedad del 8% del peso inicial, (c) Muestra con porcentaje de humedad del 12% del peso inicial, (d) Muestra con porcentaje de humedad del 16% del peso inicial, (e) Muestra con porcentaje de humedad del 20% del peso inicial, (f) Muestra con porcentaje de humedad del 44% del peso inicial.

Los datos y resultados se muestran en el Anexo B-9: Proctor modificado condiciones críticas

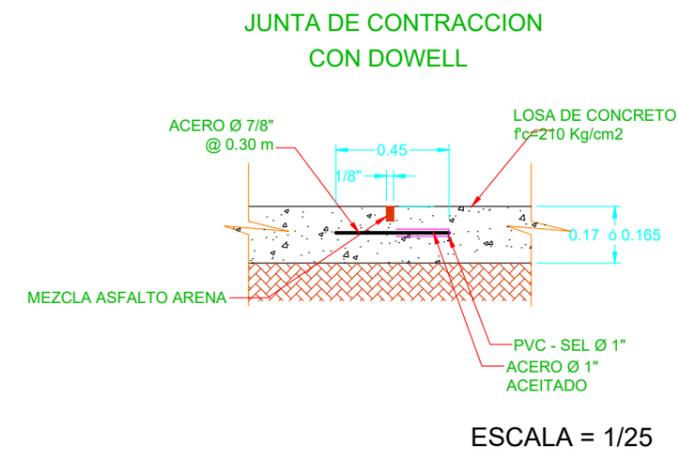
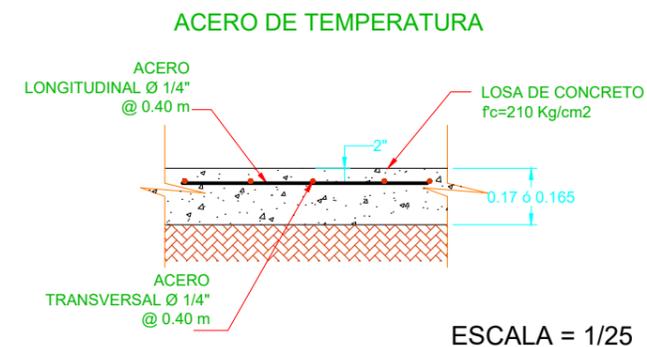
Fuente: Elaboración propia

ANEXO F: DETALLES ESTRUCTURALES DEL PAVIMENTO

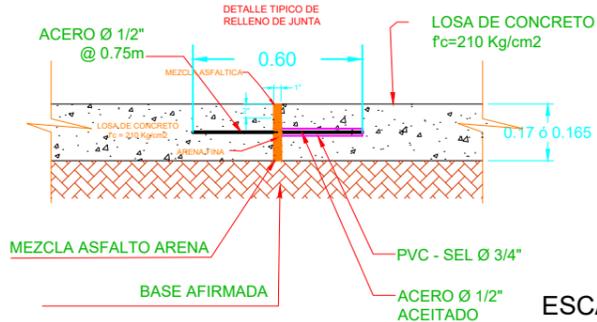


DETALLE DE LOSA CON UNION DOWELL

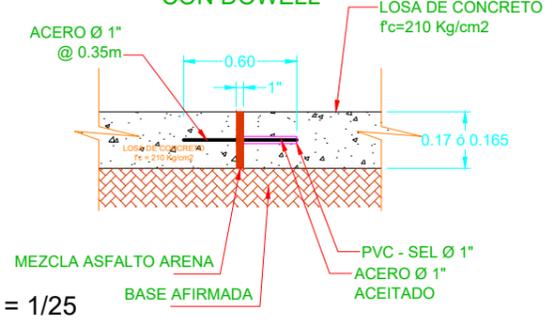
ESCALA = 1/50



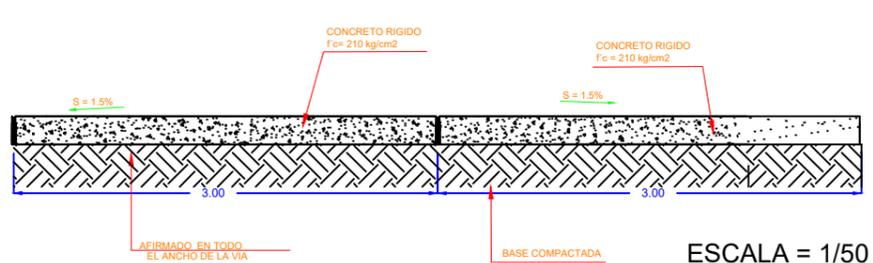
JUNTA DE DILATACION LONGITUDINAL CON DOWELL



JUNTA DE DILATACION TRANSVERSAL CON DOWELL



CORTE TRANSVERSAL DE PAVIMENTO



| | | | |
|--|-----------|---|---------|
| PROYECTO DE TESIS | | | |
| "EVALUACIÓN DE LOS RESIDUOS RECICLADOS DE LAS LADRILLERAS DE SAN JERÓNIMO, PARA LA APLICACIÓN EN SUB BASE DE PAVIMENTOS , EN LA CIUDAD DEL CUSCO - 2018" | | | |
| PLANO: | REVISAS: | BACH: | LAMINA: |
| DETALLES ESTRUCTURALES DEL PAVIMENTO | | ACUÑA OBRERON JULIE T. RUMAJA SANTOS MARCO | ES-01 |
| INDICADAS: | ESCALA: | DEPTO: | DEPTO: |
| | INDICADAS | CUSCO 2019 | CUSCO |
| | | A.O.J. R.S.M | |