

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**“DISEÑO ÓPTIMO DEL PAVIMENTO UTILIZANDO ESCORIA DE
HORNOS ELÉCTRICOS COMO MEJORAMIENTO DE LA
SUBRASANTE EN EL MERCADO LA PERLA-CHIMBOTE”**

TESISTAS:

Bach. CHAVIN BUIZA, Cesar Snayder

Bach. HONORES ZUÑIGA, Brigitte Valery

ASESOR:

Dc. Abner Itamar León Bobadilla

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO

CIVIL

NUEVO CHIMBOTE – PERÚ

2021

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**“DISEÑO ÓPTIMO DEL PAVIMENTO UTILIZANDO ESCORIA DE
HORNOS ELÉCTRICOS COMO MEJORAMIENTO DE LA
SUBRASANTE EN EL MERCADO LA PERLA-CHIMBOTE”**

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

REVISADA Y APROBADA POR:

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Abner B', is positioned above a horizontal line.

Dr. Abner Itamar León Bobadilla

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**“DISEÑO ÓPTIMO DEL PAVIMENTO UTILIZANDO ESCORIA DE
HORNOS ELÉCTRICOS COMO MEJORAMIENTO DE LA
SUBRASANTE EN EL MERCADO LA PERLA-CHIMBOTE”**

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

SUSTENTADA Y APROBADA POR EL SIGUIENTE JURADO EL DIA 22 DE
DICIEMBRE DEL 2021:

Ms. Julio César Rivasplata Díaz

Presidente

Ms. Luz Esther Álvarez Asto

Secretario

Dr. Abner Itamar León Bobadilla

Integrante

"Año del bicentenario del Perú: 200 años de independencia"

ACTA DE SUSTENTACIÓN INFORME FINAL DE TESIS

A los 22 días del mes de diciembre del año dos mil veintiuno, siendo las 06:30 de la tarde, cumpliendo el con la Resolución N° 306-2020-CU-R-UNS (12.06.120) y la Directiva 003-2020-UNSVRAC, sobre la "ADECUACIÓN DE LOS PROCEDIMIENTOS DE OBTENCIÓN DE GRADOS ACADÉMICOS Y TÍTULOS PROFESIONALES POR PARTE DE LOS ESTUDIANTES DE PREGRADO DE LA UNS, SE REALICE EN FORMA VIRTUAL; través del aplicativo virtual Zoom, se instaló el Jurado Evaluador designado mediante Resolución N° 457-2021-UNS-CFI, integrado por los docentes Ms. Julio César Rivasplata Díaz (Presidente), Ms. Luz Esther Álvarez Asto (Secretario) y el Dr. Abner Itamar León Bobadilla (Integrante) y en base a la Resolución Decanal N° 743-2021-UNS-FI, se da inicio a la sustentación de la Tesis titulada: "DISEÑO OPTIMO DEL PAVIMENTO UTILIZANDO ESCORIA DE HORNOS ELECTRICOS COMO MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE EN EL MERCADO LA PERLA - CHIMBOTE" presentado por los Bachilleres CHAVÍN BUIZA CÉSAR SNAYDER con código de matrícula N° 0201313027 y HONORES ZUÑIGA BRIGGITTE VALERY con código de matrícula N° 0201313020, quienes fueron asesorados por el Ms. Ms. Abner Itamar León Bobadilla, según lo establece la T. Resolución Decanal N° 284-2019-UNS-FI.

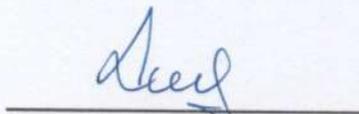
El Jurado Evaluador, después de deliberar sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo, y con las sugerencias pertinentes en concordancia con el Reglamento General para Obtener el Grado Académico de Bachiller y el Título Profesional en la Universidad Nacional del Santa, declaran:

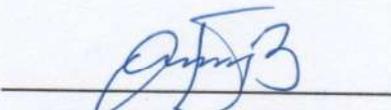
| BACHILLER | PROMEDIO VIGESIMAL | PONDERACIÓN |
|---------------------------------|--------------------|-------------|
| HONORES ZUÑIGA BRIGGITTE VALERY | 16 | BUENO |

Siendo las 07:30 del mismo día, se dio por terminado el acto de sustentación, firmando la presente acta en señal de conformidad.

Nuevo Chimbote, 22 de diciembre de 2021.


Ms. Julio César Rivasplata Díaz
Presidente


Ms. Luz Esther Álvarez Asto
Secretario


Dr. Abner Itamar León Bobadilla
Integrante

"Año del bicentenario del Perú: 200 años de independencia"

ACTA DE SUSTENTACIÓN INFORME FINAL DE TESIS

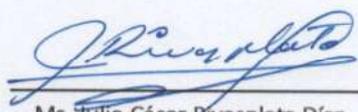
A los 22 días del mes de diciembre del año dos mil veintiuno, siendo las 06:30 de la tarde, cumpliendo el con la Resolución N° 306-2020-CU-R-UNS (12.06.120) y la Directiva 003-2020-UNSVRAC, sobre la "ADECUACIÓN DE LOS PROCEDIMIENTOS DE OBTENCIÓN DE GRADOS ACADÉMICOS Y TÍTULOS PROFESIONALES POR PARTE DE LOS ESTUDIANTES DE PREGRADO DE LA UNS, SE REALICE EN FORMA VIRTUAL; través del aplicativo virtual Zoom, se instaló el Jurado Evaluador designado mediante Resolución N° 457-2021-UNS-CFI, integrado por los docentes Ms. Julio César Rivasplata Díaz (Presidente), Ms. Luz Esther Álvarez Asto (Secretario) y el Dr. Abner Itamar León Bobadilla (Integrante) y en base a la Resolución Decanal N° 743-2021-UNS-FI, se da inicio a la sustentación de la Tesis titulada: "DISEÑO OPTIMO DEL PAVIMENTO UTILIZANDO ESCORIA DE HORNO ELECTRICOS COMO MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE EN EL MERCADO LA PERLA - CHIMBOTE" presentado por los Bachilleres CHAVÍN BUIZA CÉSAR SNAYDER con código de matrícula N° 0201313027 y HONORES ZUÑIGA BRIGGITTE VALERY con código de matrícula N° 0201313020, quienes fueron asesorados por el Ms. Ms. Abner Itamar León Bobadilla, según lo establece la T. Resolución Decanal N° 284-2019-UNS-FI.

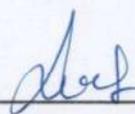
El Jurado Evaluador, después de deliberar sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo, y con las sugerencias pertinentes en concordancia con el Reglamento General para Obtener el Grado Académico de Bachiller y el Título Profesional en la Universidad Nacional del Santa, declaran:

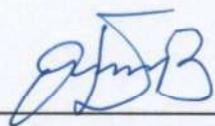
| BACHILLER | PROMEDIO VIGESIMAL | PONDERACIÓN |
|----------------------------|--------------------|-------------|
| CHAVÍN BUIZA CÉSAR SNAYDER | 16 | BUENO |

Siendo las 07:30 del mismo día, se dio por terminado el acto de sustentación, firmando la presente acta en señal de conformidad.

Nuevo Chimbote, 22 de diciembre de 2021.


Ms. Julio César Rivasplata Díaz
Presidente


Ms. Luz Esther Álvarez Asto
Secretario


Dr. Abner Itamar León Bobadilla
Integrante

DEDICATORIA

A Dios en primer lugar por las bendiciones que día a día derrama en mí y por ello llegar a donde estoy.

A mis padres Juver Honores Vigo y Sesy Zúñiga Velásquez, por su incansable apoyo emocional y económico.

A mis abuelos Cresencio Honores Briceño, Olga Velásquez Bacilio por su infaltable amor y paciencia

A dos seres especiales que ya no están conmigo; Cleiber Honores Vigo, mi tío y Emmel Sanchez Enriquez, mi abuelo, dos personas excepcionales a los que me hubiese encantado tener cerca siempre.

Brigitte Válerly Honores Zúñiga

DEDICATORIA

A Dios por ser mi guía en este largo camino, por darme fuerzas para continuar durante momentos de debilidad, por darme la salud y la energía necesaria para seguir luchando, por brindarme el milagro y la dicha de vivir.

A mis padres Nely y Santos por el esfuerzo realizado en mi educación. Sus consejos, ideales y principios que contribuyeron en mi formación personal y profesional; por lo cual les estoy muy agradecido.

A toda mi familia tan hermosa, por ser el pilar de todas mis metas, y darme las fuerzas necesarias para superar los obstáculos de la vida.

César Snyder Chavin Buiza Cesar

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a Dios por permitirnos cumplir este gran paso en nuestra vida profesional

A nuestros padres, quienes nos apoyaron en esta travesía universitaria.

A nuestros compañeros de clase, por los inolvidables momentos que compartimos juntos

A nuestro asesor el Ms. Abner Itamar León Bobadilla, por estar continuamente aclarando nuestras dudas en la elaboración de nuestro trabajo de investigación.

A nuestros maestros, por sus saberes y valores inculcados.

César y Brigitte

Índice general

| | |
|---|-------|
| DEDICATORIA | i |
| DEDICATORIA | ii |
| AGRADECIMIENTO | iii |
| Índice de tablas | xi |
| Índice de figuras..... | xiii |
| Índice de ecuaciones | xviii |
| RESUMEN | xix |
| ABSTRACT..... | xx |
| CAPÍTULO I. | 19 |
| INTRODUCCIÓN | 19 |
| 1.1. Antecedentes del problema..... | 20 |
| 1.2. Formulación del problema | 22 |
| 1.2.1. Problema general | 22 |
| 1.2.2. Problemas específicos..... | 22 |
| 1.3. Objetivos..... | 23 |
| 1.3.1. Objetivo general..... | 23 |
| 1.3.2. Objetivo específico | 23 |
| 1.4. Justificación | 23 |
| 1.4.1. Justificación técnica | 23 |
| 1.4.2. Justificación socioeconómica..... | 23 |

| | | |
|--------------------|---|----|
| 1.4.3. | Justificación ambiental..... | 24 |
| 1.5. | Limitaciones de trabajo..... | 24 |
| 1.5.1. | Limitaciones técnicas..... | 24 |
| 1.5.2. | Limitación social..... | 24 |
| 1.6. | Hipótesis de la investigación | 24 |
| CAPÍTULO II..... | | 29 |
| MARCO TEÓRICO..... | | 29 |
| 2.1. | Antecedentes de la investigación..... | 30 |
| 2.1.1. | Antecedentes internacionales..... | 30 |
| 2.1.2. | Antecedentes nacionales | 32 |
| 2.2. | Base teórica..... | 34 |
| 2.2.1. | Escoria de hornos eléctricos..... | 34 |
| 2.2.1.1. | Definición | 34 |
| 2.2.1.2. | Diagnóstico de la escoria de horno eléctrico en SiderPeru | 35 |
| 2.2.2. | Sub Rasante..... | 39 |
| 2.2.2.1. | Definición | 39 |
| 2.2.2.2. | Propiedades..... | 40 |
| 2.2.3. | Propiedades Geotécnicas fundamentales de los suelos..... | 40 |
| 2.2.3.1. | Granulometría..... | 41 |
| 2.2.3.1.1. | Gráfico De Distribución Granulométrica..... | 42 |
| 2.2.3.1.2. | Análisis Granulométrico Por Tamizado..... | 45 |

| | | |
|------------|---|----|
| 2.2.3.2. | Consistencia del suelo | 46 |
| 2.2.3.2.1. | Límite Líquido..... | 46 |
| 2.2.3.2.2. | Límite Plástico..... | 49 |
| 2.2.3.3. | Clasificación de suelos | 52 |
| 2.2.3.3.1. | Sistema Unificado De Clasificación De Suelos SUCS | 52 |
| 2.2.3.3.2. | Clasificación De La AASHTO..... | 55 |
| 2.2.3.4. | Compactación de suelos. | 56 |
| 2.2.3.4.1. | Ensayo Proctor Modificado..... | 56 |
| 2.2.3.5. | Resistencia del suelo..... | 60 |
| 2.2.4. | Mejoramiento de suelos | 61 |
| 2.2.5. | Estabilización de suelos | 62 |
| 2.2.5.1. | Estabilización mecánica de suelos..... | 63 |
| 2.2.5.2. | Estabilización por combinación de suelos..... | 63 |
| 2.2.5.3. | Estabilización por sustitución de los suelos | 63 |
| 2.2.5.4. | Estabilización química..... | 64 |
| 2.2.5.4.1. | Suelos Estabilizados Con Escoria | 64 |
| 2.2.6. | Pavimento | 66 |
| 2.2.6.1. | Definición | 66 |
| 2.2.6.2. | Características que debe reunir un pavimento | 66 |
| 2.2.6.3. | Clasificación de los pavimentos | 67 |
| 2.2.6.3.1. | Pavimento Flexible..... | 67 |

| | | |
|---|---|-----------|
| 2.2.6.3.2. | Pavimento Semi-rigidos | 67 |
| 2.2.6.3.3. | Pavimentos Rígidos..... | 68 |
| 2.2.6.3.4. | Pavimentos Articulados..... | 69 |
| 2.2.6.4. | Factores a considerar en el diseño de Pavimentos..... | 69 |
| 2.2.6.4.1. | El Tránsito..... | 69 |
| 2.2.6.4.2. | La Sub rasante | 69 |
| 2.2.6.4.3. | El Clima..... | 70 |
| 2.3. | Definición de términos..... | 70 |
| 2.4. | Marco Normativo..... | 71 |
| CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS | | 74 |
| 3.1. | Tipo de investigación..... | 75 |
| 3.2. | Nivel de investigación..... | 75 |
| 3.3. | Unidad de análisis | 76 |
| 3.4. | Ubicación..... | 76 |
| 3.5. | Población y muestra..... | 77 |
| 3.5.1. | Población..... | 77 |
| 3.5.2. | Muestra | 77 |
| 3.6. | Variables | 79 |
| 3.6.1. | Variable independiente | 79 |
| 3.6.2. | Variable dependiente | 80 |
| 3.6.3. | Matriz de consistencia..... | 80 |

| | | |
|---|---|------------|
| 3.6.4. | Operacionalización de variables | 80 |
| 3.7. | Instrumentos..... | 84 |
| 3.8. | Procedimientos..... | 89 |
| 3.8.1. | Ensayos ejecutados en campo..... | 89 |
| 3.8.2. | Ensayos ejecutados en laboratorio | 90 |
| 3.8.3. | Diseño de pavimento..... | 98 |
| 3.8.3.1. | Pavimento Flexible | 98 |
| 3.8.3.2. | Pavimento Rígido | 107 |
| CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES..... | | 115 |
| 4.1. | Análisis y discusión de los resultados..... | 116 |
| 4.1.1. | Ensayos realizados al suelo natural..... | 116 |
| 4.1.1.1. | Contenido de humedad | 116 |
| 4.1.1.2. | Análisis granulométrico..... | 117 |
| 4.1.1.3. | Gravedad específica..... | 120 |
| 4.1.1.4. | Límites de consistencia..... | 121 |
| 4.1.1.5. | Clasificación de suelos | 121 |
| 4.1.1.6. | Proctor modificado | 122 |
| 4.1.1.7. | Ensayo cbr | 126 |
| 4.1.2. | Ensayos realizados a la escoria siderúrgica | 127 |
| 4.1.2.1. | Ensayos de caracterización química | 127 |
| 4.1.2.2. | Análisis granulométrico..... | 129 |

| | | |
|--|---|------------|
| 4.1.3. | Ensayos realizados ala combinación del suelo natural con la escoria | 129 |
| 4.1.3.1. | Análisis granulométrico..... | 129 |
| 4.1.3.2. | Gravedad especifica..... | 136 |
| 4.1.3.3. | Límites de consistencia..... | 137 |
| 4.1.3.4. | Proctor modificado | 138 |
| 4.1.3.5. | Ensayo cbr | 145 |
| 4.1.4. | Diseño de Pavimento Flexible – Método AASHTO..... | 146 |
| 4.1.4.1. | Parámetros de Diseño | 146 |
| 4.1.4.2. | Módulo de Resiliencia de la subrasante | 147 |
| 4.1.4.3. | Determinación de espesores | 147 |
| 4.1.5. | Diseño del Pavimento Rígido – Método AASHTO..... | 151 |
| 4.1.5.1. | Parámetros de Diseño | 151 |
| 4.1.5.2. | Módulo de Reacción de la Subrasante..... | 151 |
| 4.1.5.3. | Módulo de Reacción de la Subbase..... | 152 |
| 4.1.5.4. | Determinación de espesores | 152 |
| 4.2. | Discusión..... | 156 |
| CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... | | 157 |
| 5.1. | Conclusiones..... | 158 |
| 5.2. | Recomendaciones | 159 |
| CAPÍTULO VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | | 160 |
| 6.1 | Referencias bibliográficas y virtuales..... | 161 |

| | |
|--|-----|
| CAPÍTULO VII. | 165 |
| ANEXOS | 165 |
| 7.1. Matriz de consistencia..... | 166 |
| 7.2. Análisis físico y químico de escorias de hornos eléctricos..... | 161 |
| 7.3. Perfil estratigráfico..... | 167 |
| 7.4. Memoria de Cálculo..... | 172 |
| 7.5. Ensayos de laboratorio..... | 170 |

Índice de tablas

| | |
|---|-----|
| Tabla 1. Características físicas de escoria de horno eléctrico..... | 36 |
| Tabla 2. Clasificación por tamaños de escoria..... | 37 |
| Tabla 3. Análisis químico de la escoria de horno eléctrico de SIDERPERU..... | 38 |
| Tabla 4. Categorías de sub rasante..... | 40 |
| Tabla 5. Clasificación de suelos según Tamaño de partículas..... | 41 |
| Tabla6. Relación de tamices de malla cuadrada | 45 |
| Tabla 7. Factor para limite liquido..... | 49 |
| Tabla 8. Tabla de estimados de precisión. | 50 |
| Tabla 9. Clasificación de suelos según índice de plasticidad | 51 |
| Tabla 10. Ubicación de Calicatas..... | 78 |
| Tabla 11. Error de desviacion estandar..... | 102 |
| Tabla 12. Valores de coeficiente de drenaje para pavimento rígido..... | 113 |
| Tabla 13. Contenido de Humedad Promedio..... | 116 |
| Tabla 14. Gravedad Especifica Promedio..... | 120 |
| Tabla 15. Limites de Atterberg del suelo..... | 121 |
| Tabla 16. Clasificación de Suelos..... | 121 |
| Tabla 17. Resultados del Proctor Modificado..... | 124 |
| Tabla 18. Resultados del ensayo de CBR | 126 |
| Tabla 19. Análisis químico de la escoria de horno eléctrico de SIDERPERU..... | 128 |
| Tabla 20. Gravedad Especifica Promedio de las combinaciones | 136 |
| Tabla 21. Límites de Atterberg del suelo más escoria siderúrgica | 137 |
| Tabla 22. Resultados del Proctor Modificado para las combinaciones | 143 |
| Tabla 23.. Resultados del ensayo de CBR de las combinaciones..... | 145 |

| | |
|--|-----|
| Tabla 24. Parámetros de Diseño del Pavimento flexible | 146 |
| Tabla 25. Parámetros de Diseño del Pavimento flexible | 147 |
| Tabla 26. Resultados de los espesores de la estructura del pavimento flexible..... | 150 |
| Tabla 27. Parámetros de Diseño del Pavimento Rígido | 151 |
| Tabla 28. Módulo de Reacción de la Subrasante | 152 |
| Tabla 29. Módulo de Reacción de la Subrasante | 152 |
| Tabla 30. Resultados de los espesores de la estructura del pavimento rígido | 155 |
| Tabla 31. Periodo de Análisis y Diseño..... | 173 |
| Tabla 32. Índice medio diario semanal | 173 |
| Tabla 33. Índice Medio Diario Anual..... | 174 |
| Tabla 34. Población futura de vehículos..... | 176 |
| Tabla 35, Índice Medio diario Anual de Pavimento flexible..... | 161 |
| Tabla 36. Periodo de Análisis y Diseño..... | 175 |
| Tabla 37. Índice medio diario semanal | 175 |
| Tabla 38. Índice Medio Diario Anual..... | 176 |
| Tabla 39. Población futura de vehículos..... | 178 |
| Tabla 40. Población futura de vehículos..... | 161 |
| Tabla 41. Efecto de la subbase no tratadas sobre valores K | 167 |
| Tabla 42. Valores de coeficiente de drenaje para pavimento rígido | 168 |

Índice de figuras

| | |
|--|-----|
| Figura 1. Curva de distribución de tamaño de partículas: análisis de tamiz y de hidrómetro .42 | 42 |
| Figura 2. Diferentes tipos de curva de distribución de tamaño de partícula.....44 | 44 |
| Figura 3. Límites de Atterberg.....46 | 46 |
| Figura 4. Muestras de suelo colocadas en la copa de casa grande. Antes y después del ensayo.47 | 47 |
| Figura 5. Curva de flujo para la determinación del límite líquido.....48 | 48 |
| Figura 6. Ensayo de límite plástico.....50 | 50 |
| Figura 7. Tipología de suelos (SUCS)53 | 53 |
| Figura 8. Carta de Casagrande54 | 54 |
| Figura 9. Clasificación de los suelos basada en ASSHTO55 | 55 |
| Figura 10. Determinación del índice CBR.....61 | 61 |
| Figura 11. Proceso de selección del tipo de estabilización65 | 65 |
| Figura 12. Pavimento Flexible.....67 | 67 |
| Figura 13. Pavimento Rígido68 | 68 |
| Figura 14. Número de calicatas para exploración de suelos78 | 78 |
| Figura 15. Ubicación de calicatas en el mercado La Perla79 | 79 |
| Figura 16. Número de repeticiones acumuladas de ejes equivalentes de 8.2t en el carril de diseño99 | 99 |
| Figura 17. Valores recomendados de Nivel de confiabilidad para una sola etapa de diseño (10 o 20 años)..... 100 | 100 |
| Figura 18. Coeficiente estadístico de la Desviación Estándar Normal (Zr) 101 | 101 |
| Figura 19. Índice de serviciabilidad Inicial (Pi)..... 102 | 102 |
| Figura 20. Índice de serviciabilidad Final (Pt)..... 103 | 103 |
| Figura 21. Módulo elástico de concreto asfáltico 105 | 105 |

| | |
|---|-----|
| Figura 22. Capacidad de drenaje..... | 106 |
| Figura 23. Coeficientes de drenaje (mi) recomendados..... | 106 |
| Figura 24. Número de repeticiones acumuladas de ejes equivalentes de 8.2t - pavimentos rígidos | 108 |
| Figura 25. Diferencial de serviciabilidad según rango de tráfico | 109 |
| Figura 26. Valores recomendados de Nivel de confiabilidad (R) y Desviación estándar Normal (Z_r)..... | 110 |
| Figura 27. Valores recomendados de resistencia del concreto según el rango de tráfico..... | 111 |
| Figura 28. Correlación CBR y módulo de reacción de la subrasante | 111 |
| Figura 29. CBR mínimos recomendados para la Subbase granular de pavimentos rígidos según intensidad de tráfico expresado en EE..... | 112 |
| Figura 30. Valores de coeficiente de transmisión de carga J..... | 113 |
| Figura 31. Gráfico Comparativo del contenido de humedad..... | 116 |
| Figura 32. Granulometría Calicata N°1 | 117 |
| Figura 33. Granulometría Calicata N°2 | 117 |
| Figura 34. Granulometría Calicata N°3 | 118 |
| Figura 35. Granulometría Calicata N°4 | 119 |
| Figura 36. Gráfico comparativo del Análisis Granulométrico..... | 119 |
| Figura 37. Gráfico comparativo de la Gravedad Específica | 120 |
| Figura 38. Proctor Modificado de la C-1 | 122 |
| Figura 39. Proctor Modificado de la C-2..... | 123 |
| Figura 40. Proctor Modificado de la C-3..... | 123 |
| Figura 41. Proctor Modificado de la C-4..... | 124 |
| Figura 42. Gráfico comparativo de la máxima densidad seca | 125 |
| Figura 43. Gráfico comparativo del Contenido Óptimo de Humedad..... | 125 |

| | |
|--|-----|
| Figura 44. Gráfico comparativo de C.B.R. 0.1” | 127 |
| Figura 45. Granulometría Escoria Siderúrgica | 129 |
| Figura 46. Granulometría Calicata N°1 + 15% de Escoria..... | 130 |
| Figura 47. Granulometría Calicata N°1 + 25% de Escoria..... | 130 |
| Figura 48. Granulometría Calicata N°1 + 40% de Escoria..... | 131 |
| Figura 49. Granulometría Calicata N°2 + 15% de Escoria..... | 131 |
| Figura 50. Granulometría Calicata N°2 + 25% de Escoria..... | 132 |
| Figura 51. Granulometría Calicata N°2 + 40% de Escoria..... | 132 |
| Figura 52. Granulometría Calicata N°3 + 15% de Escoria..... | 133 |
| Figura 53. Granulometría Calicata N°3 + 25% de Escoria..... | 133 |
| Figura 54. Granulometría Calicata N°3 + 40% de Escoria..... | 134 |
| Figura 55. Granulometría Calicata N°4 + 15% de Escoria..... | 134 |
| Figura 56. Granulometría Calicata N°4 + 25% de Escoria..... | 135 |
| Figura 57. Granulometría Calicata N°4 + 40% de Escoria..... | 135 |
| Figura 58. Gráfico de la Gravedad Específica de las combinaciones..... | 137 |
| Figura 59. Proctor Modificado de la C-1 +15% de Escoria..... | 139 |
| Figura 60. Proctor Modificado de la C-1 +25% de Escoria..... | 139 |
| Figura 61. Proctor Modificado de la C-1 +40% de Escoria..... | 140 |
| Figura 62. Proctor Modificado de la C-2 +15% de Escoria..... | 140 |
| Figura 63. Proctor Modificado de la C-2 +25% de Escoria..... | 141 |
| Figura 64. Proctor Modificado de la C-2 +40% de Escoria..... | 141 |
| Figura 65. Proctor Modificado de la C-3 +15% de Escoria..... | 142 |
| Figura 66. Proctor Modificado de la C-3 +25% de Escoria..... | 142 |
| Figura 67. Proctor Modificado de la C-3 +40% de Escoria..... | 143 |
| Figura 68. Gráfico comparativo de la MDS de las combinaciones | 144 |

| | |
|--|-----|
| Figura 69. Gráfico comparativo del OCH de las combinaciones | 144 |
| Figura 70. Gráfico comparativo de C.B.R. 0.1” | 146 |
| Figura 71. Diseño estructural para C-2 para P.F..... | 148 |
| Figura 72. Diseño estructural para C-2 + 15% de Escoria para P.F | 148 |
| Figura 73. Diseño estructural para C-2 + 25% de Escoria para P.F | 149 |
| Figura 74. Diseño estructural para C-2 + 40% de Escoria para P.F | 149 |
| Figura 75. Comparación del espesor Total del Pavimento Flexible | 150 |
| Figura 76. Diseño estructural para C-2 para P.R | 153 |
| Figura 77. Diseño estructural para C-2 + 15% de Escoria para P.R..... | 153 |
| Figura 78. Diseño estructural para C-2 + 25% de Escoria para P.R..... | 154 |
| Figura 79. Diseño estructural para C-2 + 40% de Escoria para P.R..... | 154 |
| Figura 80. Comparación del espesor Total del Pavimento Rígido | 155 |
| Figura 81. Factor de corrección estacional | 174 |
| Figura 82. Tránsito proyectado al año "n" en veh/ día..... | 174 |
| Figura 83. Tasa de crecimiento de vehículos ligeros | 175 |
| Figura 84. Tasa de crecimiento de vehículos pesados | 176 |
| Figura 85. Relación de carga por eje | 161 |
| Figura 86. Factores de distribución direccional y de carril..... | 161 |
| Figura 87. Abaco para determinar el coeficiente estructural para la capa de base granular (a2) | 166 |
| Figura 88. Abaco para determinar el coeficiente estructural para la capa de la subbase granular (a3)..... | 167 |
| Figura 89. Factor de corrección estacional | 176 |
| Figura 90. Tránsito proyectado al año "n" en veh/ día..... | 177 |
| Figura 91. Tasa de crecimiento de vehículos ligeros..... | 177 |

| | |
|---|-----|
| Figura 92. Tasa de crecimiento de vehículos pesados | 178 |
| Figura 93. Factores de distribución direccional y de carril..... | 161 |
| Figura 94. Interrelaciones aproximadas entre clasificaciones y valores de soporte | 165 |
| Figura 95. Interrelaciones aproximadas entre clasificaciones y valores de soporte | 166 |
| Figura 96. Interrelaciones aproximadas entre clasificaciones y valores de soporte | 166 |
| Figura 97. Interrelaciones aproximadas entre clasificaciones y valores de soporte | 166 |
| Figura 98. Valores de coeficiente de transmisión de carga J..... | 168 |

Índice de ecuaciones

| | |
|---|----|
| Ecuación 1. Coeficiente de Uniformidad..... | 43 |
| Ecuación 2. Coeficiente de gradación..... | 43 |
| Ecuación 3. Límite líquido..... | 48 |
| Ecuación 4. Límite plástico..... | 51 |
| Ecuación 5. Índice de plasticidad..... | 51 |
| Ecuación 6. Densidad húmeda del espécimen compactado..... | 59 |
| Ecuación 7. Densidad seca del espécimen compactado..... | 59 |
| Ecuación 8. Peso unitario seco del espécimen compactado | 59 |
| Ecuación 9. CBR..... | 61 |

RESUMEN

La presente investigación tuvo como finalidad encontrar el diseño óptimo de pavimento del Mercado la Perla, para lo cual se tuvo que hacer el mejoramiento de la subrasante del terreno con escoria de hornos eléctricos en proporciones de 15%, 25% y 40%, ya que este tenía una baja capacidad portante.

El diseño de investigación es experimental con tipo de estudio aplicada; el objeto de estudio fue el suelo del Mercado La Perla - distrito de Chimbote – Santa – Ancash; la población fueron tramos indicados por la junta directiva para evitar obstaculizar el tránsito vehicular; la muestra fue la extracción de suelos de 4 calicatas de los tramos seleccionados; el muestreo fue no probabilístico por conveniencia, obteniéndose así los siguientes valores de CBR los cuales fueron 8.41%, 5.98%, 9.12%, 14.61%, para las calicatas 1, 2, 3 y 4 respectivamente.

Posteriormente se mejoró la calicata C-2 con escoria siderúrgica en las proporciones ya dichas, produciéndose distintas combinaciones y realizando el diseño respectivo se determinó que el diseño óptimo de pavimento es de un pavimento flexible de un espesor total de 17” y está constituida por una capa de concreto asfáltico de 2” de espesor, una capa de base de 7.1” y una capa de sub base de 7.9”.

PALABRAS CLAVES: escoria de hornos eléctricos, mejoramiento, subrasante, diseño óptimo de pavimento.

ABSTRACT

The purpose of this research was to find the optimal pavement design for Mercado La Perla, for which it was necessary to improve the subgrade of the land with slag from electric furnaces in proportions of 15%, 25% and 40%, since this had a low bearing capacity.

The research design is experimental with an applied study type; The object of study was the soil of the La Perla Market - Chimbote district - Santa - Ancash; the population were sections indicated by the board of directors to avoid obstructing vehicular traffic; The sample was the extraction of soils from 4 pits of the selected sections; The sampling was non-probabilistic for convenience, thus obtaining the following CBR values which were 8.41%, 5.98%, 9.12%, 14.61%, for pits 1, 2, 3 and 4 respectively.

Subsequently, the C-2 pit was improved with steel slag in the proportions already mentioned, producing different combinations and carrying out the respective design, it was determined that the optimal pavement design is a flexible pavement with a total thickness of 17 ”and is constituted by a 2 ”thick asphalt concrete layer, a 7.1” underlayment and a 7.9 ”underlayment.

KEY WORDS: electric furnace slag, upgrading, subgrade, optimal pavement design.

CAPÍTULO I.

INTRODUCCIÓN

Antes de realizar cualquier tipo de proyecto vial, es frecuente que a lo largo del estudio para la ejecución del proyecto, se realicen una serie de ensayos para determinar si la subrasante cuenta con propiedades adecuadas que garanticen la estabilidad y durabilidad de la estructura del pavimento. Si se diera el caso que dicha subrasante no contara con las características adecuadas, es ahí donde se procede a realizar un mejoramiento o estabilización del suelo, ya sea empleando algún aditivo o reemplazándolo con algún otro material de mejores características.

El Mercado La Perla ubicado en Chimbote, es la principal fuente de abastos de la ciudad, y pese a ello aún carece de pavimento en su interior por muchas razones, entre ellas la baja capacidad portante que aporta la subrasante del terreno.

El presente trabajo radicó en la búsqueda de un diseño óptimo de pavimento a partir de un mejoramiento de la subrasante empleando escoria de hornos eléctricos en diferentes dosificaciones para mejorar las características físicas y mecánicas de la subrasante del Mercado La Perla -Chimbote

1.1. Antecedentes del problema

El mercado “La Perla” ubicado en la ciudad de Chimbote, es la principal y más concurrida fuente de abastos de esta ciudad desde el año 2000, donde los comerciantes apostaron por 11 hectáreas ubicadas en el sector “La Perla-3cabezas” la zona que antes albergaba al vivero del mismo nombre, según la ex presidenta Margarita Bobadilla. El terreno fue comprado por 5 hermanos e inicialmente estos terrenos comprendían el parque metropolitano haciendo cambio de uso como zona comercial en el año 2012 por la Municipalidad Provincial del Snata. Hoy en día el

mercado cuenta con un cerco perimétrico, instalaciones sanitarias y puestos inscritos en registros públicos y una mejor organización de los tipos de productos que ofrece. Sin embargo, muy a pesar que cuenta con una antigüedad considerable, este lugar carece de un pavimento adecuado para el tránsito de vehículos en sus calles colectoras, trayendo consigo que principalmente los alimentos adquiridos aquí, sean llevados a sus casas con impurezas del ambiente, o con restos de polvo ocasionado por el tránsito de mototaxis, autos, e incluso camiones. Si bien es cierto la construcción de vías de cualquier tipo de pavimento es una manera de demostrar el desarrollo de un país así como mejorar la calidad de vida de las personas, por ello es que se realizan una serie de estudio de suelos a la zona en donde se ejecutara dicha construcción, es en ese momento que se determinan las características físicas y mecánicas del suelo a trabajar, lo que conllevaría a una posible mejora utilizando algún aditivo o insumo antes de realizar el diseño optimo del pavimento o simplemente determinar las dimensiones de las distintas capas que conformaran la estructura. En nuestro caso evaluando las características físicas y mecánicas de la subrasante a una profundidad de 1.50m así como los estudios de mecánica de suelo que se realizaron en el mercado la perla, es que proponemos hacer uso de escoria siderúrgica como aditivo para mejorar la capacidad portante de dicho suelo, ¿y por qué escoria siderúrgica?, pues porque si bien es cierto Chimbote en catalogado como la ciudad de la pesca y el acero, ya que cuenta con estas dos principales industrias generadoras de ingresos para la familia chimbotanas. Actualmente se vienen realizando estudios para mejorar la subrasante del suelo empleando algún insumo y aditivo con el fin de mejorar la capacidad de soporte del suelo.

(Zelada y Rodriguez, 2016, p. 18) nos dicen que el uso alternativo de escoria puede contribuir a la protección del ambiente, esto debido al valor agregado que se da a un

residuo industrial. Y no solo eso, este producto contiene una serie de propiedades físicas y mecánicas capaces de aumentar resistencias, no solo en concreto sino también en estabilización de suelos.

Hoy en día se sabe que la empresa SIDERPERU utiliza las escorias para generar más ingresos a su corporativa, vendiéndolas a empresas como Pacasmayo, para su uso como aditivo de cemento, trayendo como consecuencia una elevada resistencia a la compresión del concreto.

Es por ello que teniendo como base algunas de las características que presentan los suelos de este mercado y acudiendo a uno de las industrias generadoras de ingresos de SIDERPERU, es que surge la idea, de realizar un mejoramiento de suelo a nivel de subrasante, haciendo uso de escorias de horno eléctrico, ultimo producto de la elaboración de acero y por ende determinar el diseño óptimo de pavimento.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

- ¿Cuál es el diseño óptimo del pavimento utilizando escoria de hornos eléctricos como mejoramiento de la subrasante en el Mercado la Perla?

1.2.2. Problemas específicos

- ¿Qué clasificación tendrán las muestras de suelo del mercado “La Perla” según la metodología SUCS y AASHTO?
- ¿Cuáles son los resultados del CBR con adición de 15%, 25% Y 40% de escoria siderúrgica y cuál es la óptima proporción?
- ¿Cuáles son las dimensiones de la estructura del pavimento rígido y flexible, luego de hacer un mejoramiento a la subrasante con diferentes dosificaciones de escoria de horno eléctrico?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

- Determinar el diseño óptimo del pavimento utilizando escoria de hornos eléctricos como mejoramiento de la subrasante.

1.3.2. Objetivo específico

- Clasificar las muestras extraídas del mercado la Perla según la clasificación AASHTO y SUCS.
- Determinar el valor del CBR del suelo del mercado La Perla en su estado natural y con la adición de la escoria siderúrgica con sus diferentes dosificaciones.
- Diseñar un pavimento rígido y flexible haciendo uso de escoria de horno eléctrico con diferentes dosificaciones para el mejoramiento de la subrasante.

1.4. Justificación

1.4.1. Justificación técnica

La presente investigación se justifica técnicamente porque busca una alternativa para el diseño del pavimento tomando en cuenta características físicas y mecánicas de una subrasante mejorada, con la óptima proporción de escoria siderúrgica, ya que al hacer un diseño de pavimento con el cbr natural, está en una construcción futura podría generar problemas como deformaciones en su estructura, a causa de la baja capacidad portante y propiedades mecánicas inapropiadas.

1.4.2. Justificación socioeconómica

La presente investigación beneficia a los comerciantes y transeúntes ya que ayuda a una mayor transitabilidad de autos, camiones y motos.

1.4.3. Justificación ambiental

La reutilización de las escorias siderúrgicas para mejorar la subrasante reduce la contaminación, ya que estas son almacenadas en la intemperie por tiempos indefinidos. Por otro parte con la construcción de un pavimento en el mercado se reduciría la contaminación del polvo.

1.5. Limitaciones de trabajo

1.5.1. Limitaciones técnicas

Para hacer uso de las escorias siderúrgicas, se debió contactar con previo aviso a la industria SiderPerú, para que nos brindara la información pertinente y las muestras necesarias para la realización de ensayos.

1.5.2. Limitación social

La dirigencia del mercado ofreció resistencia al realizar calicatas en las vías del mercado la perla ya que siempre están transitadas. Así que se limitó a realizar las calicatas en la parte trasera y zonas menos alternas de dicho mercado.

1.6. Hipótesis de la investigación

Si se diseña diferentes tipos de pavimento utilizando escoria de hornos eléctricos como mejoramiento de la subrasante, se podrá proponer el diseño óptimo de la estructura del pavimento para el Mercado La Perla.

CAPÍTULO II.
MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Antecedentes internacionales

(Leiva, Montenegro y Ponce, p. 20) en el simposio (*Caracterización de suelo arcilloso y su mezcla con escoria blanca proveniente de la siderurgia integral*) nos hablan que al adicionar escoria a un suelo arcilloso, este presenta unas mejoras en: disminución de la plasticidad, modificación de las características de compactación (aumenta peso específico seco y disminuye humedad), así como también el aumento del valor CBR. En sus ensayos, emplearon 3 combinaciones, dos con escoria al 5% y 10% y una con cal al 1%, dichas muestras presentaron una reducción del límite líquido del suelo en un 9, 13 y 15 % respectivamente. Con respecto a su índice de plasticidad, existió una reducción en su índice y por tanto en su comportamiento plástico, lo cual se traduce en un beneficio en su utilización en obras viales. Por otro lado con respecto a las propiedades de compactación, en los resultados del ensayo de Proctor modificado, se aprecia que el suelo natural tiende a aumentar su máxima densidad seca frente a la adición de escoria asociada a una nueva y menor humedad óptima; caso contrario sucedió con la adición de cal, en donde se redujo el valor de su máxima densidad seca pero a su vez estuvo asociada a una nueva y mayor humedad óptima. Con respecto al CBR; las mezclas de suelo a las que se le añadió escoria en un 5% y un 10% incrementaron su CBR con respecto al del suelo (CBR=5), alcanzando valores de 7 y 8 respectivamente cuyo valor justificaría que dicha mezcla cumpla el rol de subrasante.

(Acosta y Villarraga, 2018, p. 83) en su tesis (*Análisis del comportamiento de las propiedades mecánicas de un suelo cohesivo y posible uso como material de terraplen: cuando se modifica su composición granulométrica usando escoria de alto horno*), Bogota 2018; presentada en la Universidad Distrital Francisco José Caldas, se empleó como muestra de estudio un suelo cuya clasificación fue arcilla de baja plasticidad con un índice de resistencia del 2%, valor que es mucho menor a lo requerido en las especificaciones técnicas para uso como material de terraplén, por lo que se optó el mejoramiento de este suelo empleando escorias de alto horno el cual cuenta con un comportamiento friccionante.

Una vez culminadas las fases de la propuesta del proyecto, se confirmó la hipótesis de que la escoria de alto horno puede mejorar las condiciones de comportamiento de un material de suelo en lo que se refiere a su índice de resistencia; de tal manera que este pueda ser usado como material de terraplén. Si se habla en términos de resistencia se podría concluir que a partir del 10% de escoria añadida al suelo de estudio; se obtienen los parámetros del CBR óptimos para el uso de material como terraplenes según las especificaciones de dicho país, en donde se habla de un mínimo de 5% para suelos adecuados y dispuestos en la corona del terraplén. Por otro lado se analizó cuidadosamente en conjunto a los demás requerimientos ya que se observó que cuando la muestra es modificada con un 30% de escoria de alto horno, se alcanza un porcentaje de material que pasa del tamiz N°200 menor al 35%. Es decir, el material de estudio para ese proyecto solo puede ser utilizado como material de terraplén cuando la composición granulométrica modificada con escoria de alto horno conserve una proporción mayor del 30%.

2.1.2. Antecedentes nacionales

(Marquina, 2008, p. 168) en su tesis (*uso de las escorias obtenidas como sub producto de la elaboracion de acero de la planta N°2 de aceros Arequipa - Pisco para fines de cimentación y pavimentacion*); presentada en la Universidad Ricardo Palma, estudió las características físicas de las escorias, sub producto de la elaboración de acero de la planta de Aceros Arequipa, quien llegó a la conclusión de que dicho agregado cuenta con características excelentes para fines de base y sub base, cumpliendo con la mayoría de parámetros de las normas ASTM y del manual de diseño AASHTO para pavimentos. Al analizar las escorias en su estado natural y con combinaciones de polvo Baghouse, el cual también es un subproducto de la elaboración de acero; se pudieron observar altos valores de CBR tanto para las escorias en su estado natural, así como las combinaciones con el agregado mencionado en un 10%, 15% y 20%. El aumento de los valores de CBR para las muestras con combinaciones de polvo Baghouse, alcanzaron valores de 259% del CBR calculado al 95% del Optimo Contenido de Humedad.

El diseño de pavimentos se hizo tomando en cuenta el estado natural de las escorias como sub base y las combinaciones de polvo como base. Una de estas combinaciones fue de 10% de polvo Baghouse con 90% de escorias, en lo que se observo un ahorro de materias de base de aproximadamente 2cm y con respecto a las otras combinaciones de 15% y 20% de polvo con escorias de 3 a 4cm respectivamente.

(Collantes, 2012) en su tesis (*Estabilizacion de suelos arcillosos con cenizas de carbon para su uso como subrasante mejorada y/o sub base de pavimentos*),

nos habla que al observar el comportamiento de las propiedades físico mecánicas y químicas de la combinación de suelo altamente arcilloso y expansivo con cenizas de carbón, estas tenían una disminución de 20% en humedad, plasticidad, expansión y gravedad específica.

Realizando la mezcla de cemento, cenizas volantes y arcilla en un 3% en suelos arcillosos, estos mejoran su resistencia desde 7.7% hasta 51% de CBR al 100% de la m.d.s de su proctor modificado. Por lo tanto al tener un suelo mejorado, se reducen los valores de espesores del pavimento.

(García, 2015) en su tesis (*Determinación de la resistencia de la subrasante incorporando cal estructural en el suelo limo arcilloso del sector 14 Mollepampa de Cajamarca*), presentada en la Universidad privada del Norte de la ciudad de Piura, nos dice que al adicionar cal estructural en porcentajes de 2%, 4%, 6% y 8%, se obtuvo una variación de índice de plasticidad y densidad seca máxima del suelo. Del mismo modo se observó un incremento del CBR al 0.1” : 5.20% incorporando 2% de cal un CBR de 5.30%, incorporando 4% de cal un CBR de 6.30%, incorporando 6% de cal un CBR de 7.20%, e incorporando 8% de cal un CBR de 8.05%; CBR al 2”); con un suelo natural un CBR de 5.40%, incorporando 2% de cal un CBR de 5.70%, incorporando 4% de cal un CBR de 6.60%. incorporando 6% de cal un CBR de 7.50%, e incorporando 8% de cal un CBR de 8.30%. a su vez los resultados también arrojaron la disminución del índice de plasticidad conforme se va agregando la cal estructural de 2%, 4%, 6% y 8% al suelo natural con IP de 11.26% a un 3.64%. También aumenta la densidad seca.

2.2. Base teórica

2.2.1. Escoria de hornos eléctricos

2.2.1.1. Definición

“El acero es un metal presente en la vida cotidiana de millones de personas de todo el mundo, el cual podemos encontrar en puentes, edificios, industrias, rutas, casas, hidroeléctricas, torres de electricidad y en diversas aplicaciones. Por tal modo la siderurgia es una de las industrias más desarrolladas por la diversidad de usos del acero en los sectores económicos.

Por otro lado, para obtener el acero se generan residuos que, a pesar de los controles operacionales en sus procesos siderúrgicos, su generación permanece en cantidades significativas.

Uno de los principales residuos es la escoria de horno eléctrico, el cual se genera de la fusión de la chatarra y otras adicciones, agregadas dentro del horno eléctrico tales como cal, calcina, carbón y ferroaleaciones, que constituye un residuo aprovechable en el sector de la construcción e infraestructura vial.” (Zelada y Rodriguez, 2016, p. 3)

“En el proceso de producción de acero, como producto de la oxidación de impurezas, la adición de cal para formar escorias, e introducción al horno de residuos de las materias primas tales como hierro, chatarra, etc.; es que se constituyen las escorias a razón de aproximadamente 143kg/tn de acero. Los componentes principales son FeO, CaO, MgO y SiO₂. “ (Marquina, 2008, p. 3)

2.2.1.2. Diagnóstico de la escoria de horno eléctrico en SiderPeru

a. Generación de la escoria en horno eléctrico de SiderPeru:

La instalación de equipos para la generación de escoria consta de un horno eléctrico, compuesto de una cascara metálica exterior, paneles refrigeradores y una cama de sacrificio de material refractado. La capacidad nominal de este horno eléctrico es de 30 toneladas.

El proceso de formación de escoria se da de la siguiente manera: en primer lugar las materias primas son llevadas a la bóveda del horno, una vez colocadas se cierra y se inicia el arco eléctrico en donde se fundirá la chatarra mediante la alimentación de energía eléctrica en corriente alterna entre tres electrodos de grafito. Una vez que el líquido fundido es formado debajo de los electrodos a 1600°C el horno se alimenta con cal para generar la escoria y para la oxidación del acero líquido se alimenta de oxígeno puro. Y para finalizar se adiciona carbón en polvo para la formación de la escoria espumosa.

Después de 40 a 60 min, el horno eléctrico es girado de tal manera que la escoria sobrenadante se extrae por un orificio y es trasladada hacia la zona de enfriamiento, donde posteriormente es evacuada a la zona de recuperación metálica. La cantidad de escoria de horno eléctrico se genera en relación a 111kg/t de acero solido (Zelada y Rodriguez, 2016, p. 11)

b. Recuperación metálica y clasificación de la escoria de horno eléctrico.

SiderPeru cuenta con una planta de recuperación metálica y clasifica por tamaños a la escoria de horno eléctrico. Cuando la escoria de horno eléctrico se extrae del horno se encuentra líquida y se enfría bruscamente con agua, sufriendo una cohesión entre sus partículas formando rocas. Estas son trasladadas hacia una planta donde se recupera el material ferroso para su reciclaje en el horno eléctrico y el material no ferroso es clasificado por tamaños para su traslado a la cancha de almacenamiento. (Zelada y Rodríguez, 2016, p. 12)

c. Características de la escoria de horno eléctrico.

Una vez que la escoria de horno eléctrico se le retira el material ferroso que contenía, presenta las siguientes características.

Tabla 1.
Características físicas de escoria de horno eléctrico

| | |
|---------------|---|
| Presentación | Granel: Gravilla (0-3/8”), grava huso 67 (3/8”-1”), grava huso 3 (1”-2”), grava (2”-3”) y base (3”-10”) |
| Estado Físico | Sólido |

Figura 1. Escoria de horno eléctrico huso 67 – SIDERPERU



| | |
|-------------------|------------------|
| Color | Gris y negro |
| Textura | Rugosa y áspera |
| Forma | Cúbica y angular |
| Olor | Ninguno |
| Otras propiedades | Inerte |

Fuente: *Laboratorio de SIDERPERU, 2016*

Tabla 2.

Clasificación por tamaños de escoria

| Tamaño | % de la generación mensual |
|-----------|----------------------------|
| 0 - 3/8" | 20 |
| 3/8" – 1" | 40 |
| 1" - 2" | 30 |
| 2" – 3" | 5 |
| 3" – 20" | 5 |

Fuente: *Laboratorio de SIDERPERU, 2016*

d. Características químicas.

En la siguiente tabla se presenta el resumen de los resultados del contenido de metales que contiene la escoria de horno eléctrico de SiderPeru

Tabla 3.

Análisis químico de la escoria de horno eléctrico de SIDERPERU

| Parámetro | Unidades | Límite de cuantificación | Muestra 1 | Muestra 2 |
|------------------|-----------------|---------------------------------|------------------|------------------|
| B | % | - | 0.02 | 0.03 |
| Al | % | - | 1.55 | 1.31 |
| P | % | - | 0.13 | 0.09 |
| Ti | % | - | 0.24 | 0.17 |
| V | % | - | 0.09 | 0.04 |
| Cr | % | - | 0.15 | 0.12 |
| Mn | % | - | 2.25 | 1.28 |
| Cu | % | - | 0.02 | 0.02 |
| Zn | % | - | 0.03 | 0.03 |
| Sr | % | - | 0.03 | 0.02 |
| Mo | % | - | 14.84 | 41.29 |
| Ba | % | - | 0.07 | 0.05 |
| Na | % | - | 0.19 | 0.25 |
| Mg | % | - | 4.65 | 2.2 |
| K | % | - | 0.12 | 0.18 |
| Ca | % | - | 19.08 | 9.21 |
| Fe | % | - | 18.05 | 25.02 |
| Li | mg/kg | 0.12 | 16.67 | 13.58 |
| Be | mg/kg | 0.06 | 0.83 | 0.58 |
| Co | mg/kg | 0.02 | 6.18 | 25.94 |
| Ni | mg/kg | 0.04 | 44.05 | 246.58 |
| As | mg/kg | 0.04 | 8.86 | 57.85 |
| Se | mg/kg | 0.02 | <0.02 | 0.92 |
| Ag | mg/kg | 0.02 | 1.54 | 8.44 |
| Cd | mg/kg | 0.02 | 0.54 | 3.9 |
| Sn | mg/kg | 0.04 | 62.53 | 500 |
| Sb | mg/kg | 0.02 | 0.57 | 11.14 |
| Ce | mg/kg | 0.03 | 26.05 | 29.68 |
| W | mg/kg | 0.5 | 95.3 | 31.15 |

| | | | | |
|----|-------|------|--------|-------|
| Ti | mg/kg | 0.03 | <0.03 | 0.15 |
| Pb | mg/kg | 0.02 | 148.25 | 2200 |
| Bi | mg/kg | 0.03 | <0.03 | <0.03 |
| Th | mg/kg | 0.1 | 3.9 | 4.67 |
| U | mg/kg | 0.03 | 1.94 | 1.74 |
| Hg | mg/kg | 0.01 | 2.66 | 2.54 |

Fuente: *Resultados de la Empresa Inspectorate-Bureau Beritas, 2009*

e. Reaprovechamiento dentro del complejo industrial

La escoria de horno eléctrico de SiderPeru se aprovecha dentro del complejo industrial de Chimbote como sustituto de balastro en las líneas férreas, como material de afirmado en caminos y para fabricación de losas y veredas.

2.2.2. Sub Rasante

2.2.2.1. Definición

Según el Manual de carreteras, geología, geotecnia y pavimentos del MTC (2014): “La subrasante viene a ser la capa superior de un terraplén o fondo de excavación del terreno natural la cual soportara la estructura del pavimento” (p.20)

Se denomina sub rasante al suelo que sirve como fundación para todo el paquete estructural de un pavimento.

La sub rasante es la superficie del cuerpo del terraplén sobre la que se colocan las capas de sub base, base o superficie de rodamiento (Keller y Sherar, 2004, p. 13)

Para realizar el diseño de la estructura de un pavimento, se necesita las siguientes variables: capacidad de soporte de la sub rasante, tránsito y características de los materiales para la construcción de la superficie de rodadura. (Ravinez, 2010, p. 10)

2.2.2.2. Propiedades

Entre estas tenemos: fácil compactación, granulometría, resistencia, estabilidad volumétrica, relación de humedad – densidad, etc.

Los suelos que se encuentran por debajo del nivel superior de la sub rasante a una profundidad de 0.60m, deben ser adecuados y estables con $CBR \geq 6\%$, en caso contrario la subrasante será inadecuada por lo que correspondería una estabilización. (MTC, 2014, p.21)

Tabla 4.
Categorías de sub rasante

| CATEGORIAS DE SUB RASANTE | CBR |
|-------------------------------|------------------------|
| S0 : Sub rasante inadecuada | $CBR < 3\%$ |
| S1 : Sub rasante insuficiente | $3\% \leq CBR < 6\%$ |
| S2 : Sub rasante regular | $6\% \leq CBR < 10\%$ |
| S3 : Sub rasante Buena | $10\% \leq CBR < 20\%$ |
| S4 : Sub rasante Muy Buena | $20\% \leq CBR < 30\%$ |
| S5 : Sub rasante Excelente | $CBR \geq 30\%$ |

Fuente: *Recuperado de “Manual de carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y pavimentos”, MTC, 2014, p.34, Lima, Perú.*

2.2.3. Propiedades Geotécnicas fundamentales de los suelos

Entre estas tenemos:

- Granulometría
- Estados de consistencia

- Clasificación de los suelos
- Compactación de suelos
- Resistencia del suelo

2.2.3.1. Granulometría

La granulometría representa la distribución de los tamaños que posee el agregado mediante el proceso de tamizado. Este análisis tiene como finalidad determinar la proporción de sus diferentes elementos, clasificados en función de su tamaño. (MTC, 2014, p.30)

Tabla 5.
Clasificación de suelos según Tamaño de partículas

| TIPO DE MATERIAL | TAMAÑO DE LAS PARTICULAS |
|------------------|---------------------------------|
| grava | 75 mm - 4.75 mm |
| arena | arena gruesa: 4.75 mm - 2 mm |
| | arena media: 2.00 mm - 0.425 mm |
| | arena fina: 0.425 mm - 0.075 mm |
| material fino | limo 0.075 mm - 0.005 mm |
| | arcilla menor a 0.005 mm |

Fuente: *Recuperado de “Manual de carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y pavimentos”, MTC, 2014, p.31, Lima, Perú.*

Para determinar la composición granulométrica existen diversos procedimientos. En suelos de grano grueso el procedimiento es el cribado por mallas, donde se utiliza una serie normalizada de tamices siendo la más empleada la ASTM D-2487/69 americana. Por otro lado, en suelos limosos y

arcillas no es posible efectuar el tamizado, para ello se empleará el método de sedimentación, el que consiste en observar la velocidad del asentamiento de las partículas de suelo.

2.2.3.1.1. Gráfico De Distribución Granulométrica

Una vez obtenido los resultados mediante el tamizado de partículas o hidrométrico, se procede a representar los valores en graficas semilogarítmicas. Donde las ordenadas representan el % en peso de las partículas que pasan determinado tamiz y las abscisas el tamaño correspondiente.

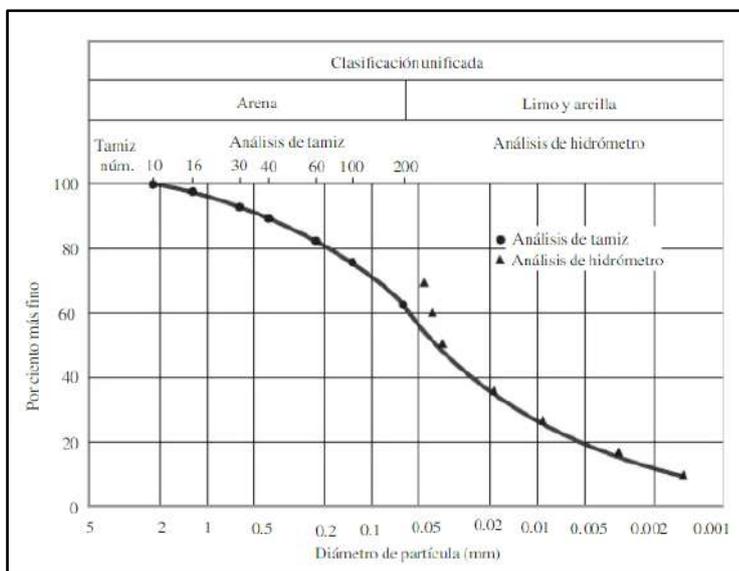


Figura 1. Curva de distribución de tamaño de partículas: análisis de tamiz y de hidrómetro

Fuente: Recuperado de “Fundamentos de Ingeniería Geotécnica”, de Broja, D, p.39, México

A partir de la curva de distribución de partículas se pueden determinar tres parámetros básicos de suelos.

- Tamaño efectivo
- Coeficiente de uniformidad

- Coeficiente de gradación

a. Tamaño efectivo

Viene a ser el diámetro de la curva de distribución de tamaño de partícula correspondiente a un porcentaje de fino.

b. Coeficiente de Uniformidad

Ecuación 1. Coeficiente de Uniformidad

Dado por la siguiente relación:

$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} \dots \dots \dots (1)$$

Donde:

Cu: coeficiente de uniformidad

D10: diámetro correspondiente al 10% más fino en la curva de distribución de tamaño de partícula.

D60: diámetro correspondiente al 60% más fino en la curva de distribución de tamaño de partícula.

c. Coeficiente de gradación

Ecuación 2. Coeficiente de gradación

Dado por la siguiente relación:

$$Cc = \frac{D_{30}^2}{D_{60} \times D_{10}} \dots \dots \dots (2)$$

Donde:

Cu: coeficiente de uniformidad

D10: diámetro correspondiente al 10% más fino en la curva de distribución de tamaño de partícula.

D30: diámetro correspondiente al 30% más fino en la curva de distribución de tamaño de partícula.

D60: diámetro correspondiente al 60% más fino en la curva de distribución de tamaño de partícula.

Se denomina “Suelos bien graduados” cuando su $C_u > 4$ para las gravas y $C_u > 6$ para arenas y un $1 < C_c < 3$ para gravas y arenas.

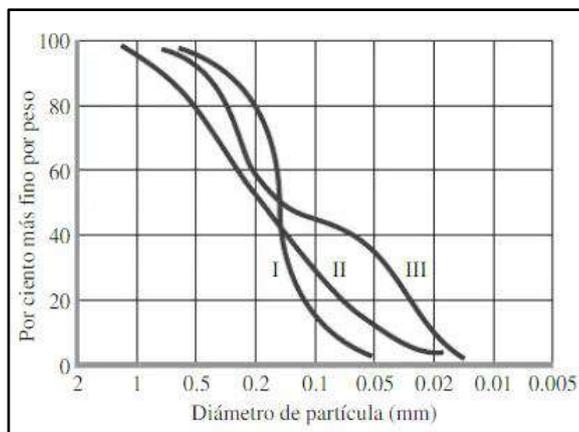


Figura 2. Diferentes tipos de curva de distribución de tamaño de partícula

Fuente: Recuperado de “Fundamentos de Ingeniería Geotécnica”, de Broja, D, p.41, México

La curva I muestra un tipo de suelo con partículas del mismo tamaño

La curva II representa un suelo con partículas distribuidas en un amplio rango (suelo bien graduado)

La curva III representa una combinación de ambas, denominándose granulometría discontinua

2.2.3.1.2. *Análisis Granulométrico Por Tamizado*

Para ellos se utiliza la siguiente relación de tamices:

Tabla6.

Relación de tamices de malla cuadrada

| TAMICES | ABERTURA (mm) |
|---------|---------------|
| 3" | 75,000 |
| 2" | 50,800 |
| 1 1/2 " | 38,100 |
| 1" | 25,400 |
| 3/4" | 19,000 |
| 3/8" | 9,500 |
| N° 4 | 4,760 |
| N° 10 | 2,000 |
| N°20 | 0,840 |
| N° 40 | 0,425 |
| N° 60 | 0,260 |
| N° 140 | 0,106 |
| N° 200 | 0,075 |

Fuente: *Recuperada de “manual de ensayo de materiales”, MTC, 2016, p.44, Lima, Perú*

Este ensayo consiste en pasar la muestra de suelo por la serie de tamices mencionada en la Tabla 6. de manera gradual, con el fin de determinar el porcentaje de material retenido en cada malla, cuyo valor servirá para generar la curva granulométrica en la gráfica semilogarítmica. (Manual de ensayos de laboratorio, 2016, p. 45)

2.2.3.2. Consistencia del suelo

Dependiendo del contenido de humedad del suelo, la naturaleza del comportamiento de este puede ser dividido en cuatro estados básicos: sólido, semisólido, plástico y líquido. (Braja M., 2013, p. 64)

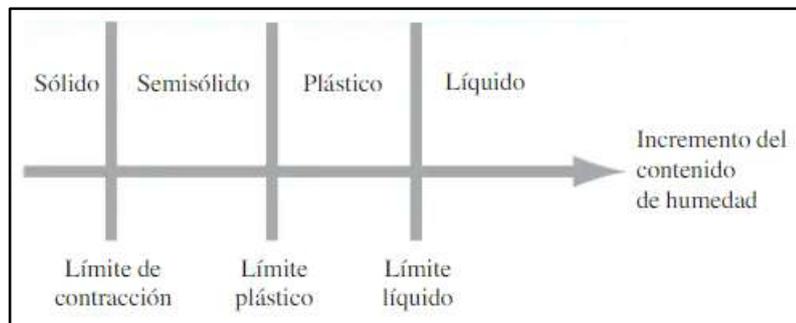


Figura 3. Límites de Atterberg

Fuente: Recuperado de “Fundamentos de Ingeniería Geotécnica”, de Braja M., 2013, p.64, México

Según el Manual de Carreteras: Suelos, geología, geotecnia y pavimentos en la página 31

2.2.3.2.1. Límite Líquido

Cuando el suelo pasa de estado semilíquido a estado plástico

➤ **Procedimiento para determinar el límite líquido**

- Se coloca una pasta de suelo en la copa de casa grande esparciéndola hasta una profundidad de 10mm, formando una superficie prácticamente horizontal.
- Utilizando el acanalador se divide la muestra, haciendo una ranura desde el punto más alto al punto más bajo.

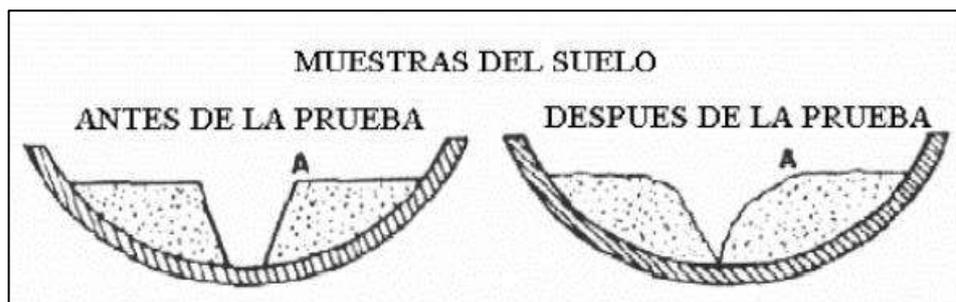


Figura 4. Muestras de suelo colocadas en la copa de casa grande. Antes y después del ensayo.

Fuente: Recuperado de “Manual de Carreteras: Suelos, geología, geotecnia y pavimentos”, MTC, 2014, p.69. Lima, Perú

- Contar el número de golpes al levantar y soltar la copa, girando el manubrio a una velocidad de 1,9 a 2,1 golpes por minuto, hasta que se unan ambas partes de suelo en una longitud de $\frac{1}{2}$ ” (13mm).
- Tomar una muestra de suelo de extremo a extremo, obtenida perpendicularmente a la ranura y determinar su contenido de humedad.
- Realizar tres veces el ensayo, con golpes de 25 a 35, 20 a 30 y 15 a 25, cuyos valores se representarán en un plano semilogarítmico, donde las abscisas serán el numero de golpes y la ordenada el contenido de humedad.
- Se traza una línea recta y el valor del límite liquido será la correspondiente a 25 golpes.

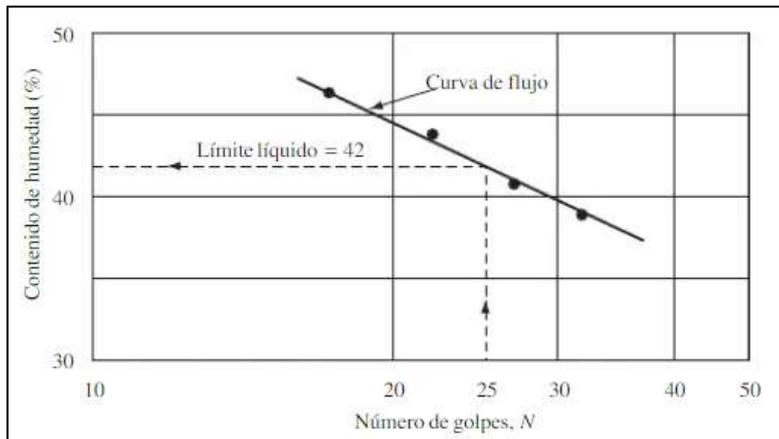


Figura 5. Curva de flujo para la determinación del límite líquido.

Fuente: Recuperado de “Fundamentos de Ingeniería Geotécnica”, de Braja D., p.67, México

- Si se desea determinar el límite líquido de cada espécimen, se debe aplicar la siguiente formula:

Ecuación 3. Límite líquido

$$LL = W^n \left(\frac{N}{25}\right)^{0.121} \quad o \quad LL = kW^n \dots\dots\dots(3)$$

Donde:

N: Número de golpes requeridos para cerrar la ranura

W^n : contenido de humedad del suelo

k: factor dado por la tabla

Tabla 7.
Factor para limite liquido

| N (Numero de golpes) | k (Factor para el límite líquido) |
|----------------------|-----------------------------------|
| 20 | 0.974 |
| 21 | 0.979 |
| 22 | 0.985 |
| 23 | 0.99 |
| 24 | 0.995 |
| 25 | 1.000 |
| 26 | 1.005 |
| 27 | 1.009 |
| 28 | 1.014 |
| 29 | 1.018 |
| 30 | 1.022 |

Fuente: Recuperado de “Manual de ensayo de materiales”, MTC, 2016, p.70. Lima, Perú

2.2.3.2.2. *Limite Plástico*

Cuando el suelo pasa de estado plástico a estado semisólido y se rompe.

➤ **Procedimiento para determinar el limite plástico**

- Se toma una muestra de suelo de 20g aproximadamente, amasándolo con agua destilada hasta formar una esfera.
- Se toma de 1,5 a 2,0g de dicha esfera para el ensayo y se rueda con los dedos de la mano sobre una superficie lisa hasta formar cilindros con diámetro de 3.2 mm (1/8”)



Figura 6. Ensayo de límite plástico

Fuente: Recuperado de “Fundamentos de Ingeniería Geotécnica”, de Braja, D., p.69, México

- Una vez observado el desmoronamiento o alguna fisura a lo largo de los cilindros, se determina su contenido de humedad. Hacer este proceso hasta obtener 6g de suelo.

Tabla 8.
Tabla de estimados de precisión.

| Índice de precisión y tipo de ensayo | Desviación estándar | Rango Aceptable de dos resultados |
|--|---------------------|-----------------------------------|
| Precisión de un operador simple | | |
| Limite plástico | 0.9 | 2.6 |
| Precisión Multilaboratorio | | |
| Limite plástico | 3.7 | 10.6 |

Fuente: Recuperado de “Manual de ensayo de materiales”, MTC, 2016, p.73, Lima, Perú

El límite plástico se expresa como porcentaje de humedad, mediante la siguiente fórmula:

Ecuación 4. Límite plástico

$$\text{Límite plástico} = \frac{\text{Peso de agua}}{\text{Peso de suelo seco}} \times 100 \dots\dots\dots(4)$$

CALCULO DE INDICE DE PLASTICIDAD

Una vez obtenidos los valores de límite líquido y límite plástico, se puede determinar el índice de plasticidad que viene a ser la diferencia entre ambos valores.

Ecuación 5. Índice de plasticidad

$$IP = LL - LP \dots\dots\dots(5)$$

El índice de plasticidad indica la consistencia plástica de un suelo y permite clasificar un suelo.

Tabla 9.
Clasificación de suelos según índice de plasticidad

| índice de plasticidad | plasticidad | características |
|------------------------------|--------------------|---------------------------|
| IP > 20 | alta | suelos muy arcillosos |
| IP < 20 IP > 7 | media | suelos arcillosos |
| IP < 7 | baja | suelos poco arcillosos |
| IP = 0 | No plástico (NP) | suelos exentos de arcilla |

Fuente: Recuperado de “Manual de Carreteras: Suelos, geología, geotecnia y pavimentos”, MTC, 2014, p.32, Lima, Perú

2.2.3.3. Clasificación de suelos

Agrupar suelos por semejanza de comportamiento, correlacionando propiedades mediante un sistema de clasificación, permite resolver diversidad de problemas como de flujo, asentamientos, estabilidad, etc.

(Duque Escobar, 2016, p. 78)

2.2.3.3.1. *Sistema Unificado De Clasificación De Suelos SUCS*

Se usa para describir la textura y el tamaño de las partículas de suelos.

Los suelos gruesos y finos se diferencian uno del otro por la cantidad del material retenido en la malla N°200, si más del 50% del material queda retenido en dicha malla, entonces se habla de un suelo grueso, de lo contrario de un suelo fino.

Los suelos gruesos, se dividen en gravas(G) y arenas(S). Se denomina grava si más del 50% del material queda retenido en la malla N°4, de caso contrario será arena.

- **Gravas y arenas bien graduadas (GW y SW)**

La condición para que estos suelos sean bien graduados es que la cantidad de material fino sea menor del 5%.

En el caso de las gravas las condiciones para que estas sean bien graduadas es que su $C_u > 4$ y $1 < C_c < 3$ mientras que para las arenas su $C_u > 6$

- **Gravas y arenas mal graduadas (GP y SP)**

Son suelos con graduaciones uniformes y cumplen con las características de los grupos GW y SW.

- **Gravas y arenas arcillosas (GC y SC)**

Presentan una cantidad de finos mayor al 12% del peso de la muestra, su índice plástico es mayor a 7, su plasticidad varia de media a alta.

Los suelos finos están divididos en grupos: limos inorgánicos (M), arcillas inorgánicas (C), y arcillas y limos (O)

Estos suelos se subdividen según su límite líquido, si su límite líquido es menor al 50% se dice que el suelo presenta alta compresibilidad y se le añade la letra (H), de lo contrario el suelo presenta una baja compresibilidad y se le añade la letra (L).

| SÍMBOLO | Características generales | | |
|----------------------|-----------------------------------|----------------------------|---------------------------|
| GW GP GM GC | GRAVAS (>50% en tamiz #4 ASTM) | Limpias (Finos<5%) | Bien graduadas |
| | | | Pobrementemente graduadas |
| | | Con finos (Finos>12%) | Componente limoso |
| | | | Componente arcilloso |
| SW SP SM SC | ARENAS (<50% en tamiz #4 ASTM) | Limpias (Finos<5%) | Bien graduadas |
| | | | Pobrementemente graduadas |
| | | Con finos (Finos>12%) | Componente limoso |
| | | | Componente arcilloso |
| ML MH | LIMOS | Baja plasticidad (LL<50) | |
| | | Alta plasticidad (LL>50) | |
| CL CH | ARCILLAS | Baja plasticidad (LL<50) | |
| | | Alta plasticidad (LL>50) | |
| OL OH | SUELOS ORGÁNICOS | Baja plasticidad (LL<50) | |
| | | Alta plasticidad (LL>50) | |
| Pt | TURBA | Suelos altamente orgánicos | |

Figura 7. Tipología de suelos (SUCS)

Fuente: Recuperado de “Manual de carreteras. Volumen II: construcción y mantenimiento”, de Boñon, L y Beviá, J.,2000, p.21, España

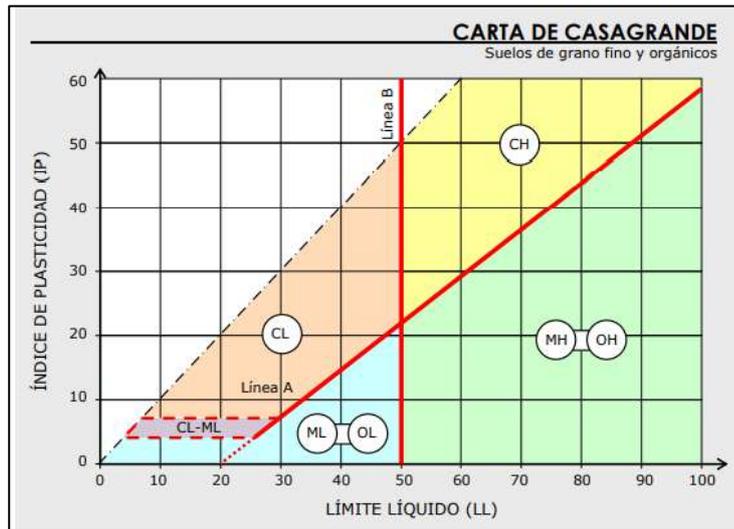


Figura 8. Carta de Casagrande

Fuente: Recuperado de “Manual de carreteras. Volumen II: construcción y mantenimiento”, de Boñon, L y Beviá, J.,2000, p.22, España

2.2.3.3.2. *Clasificación De La AASHTO*

Esta clasificación es especial para construcciones de vías.

| Clasificación general | Suelos granulares 35% máximo que pasa por tamiz de 0.075 mm (N° 200) | | | | | | | Suelos finos más de 35% pasa por el tamiz de 0.075 mm (N° 200) | | | | |
|---|---|---------|--------------|--------------------------------------|---------|---------|------------------------|---|---------|-------------------|------------------------|------------------------|
| | A-1 | | A-3 | A-2 | | | | A-4 | A-5 | A-6 | A-7 | |
| | A-1-a | A-1-b | | A-2-4 | A-2-5 | A-2-6 | A-2-7 | | | | A-7-5 | A-7-6 |
| Análisis granulométrico % que pasa por el tamiz de: | | | | | | | | | | | | |
| 2 mm (N° 10) | máx. 50 | | min. 51 | | | | | | | | | |
| 0.425 mm (N° 40) | máx. 30 | máx. 50 | máx. 10 | | | | | | | | | |
| F: 0.075 mm (N° 200) | máx. 15 | máx. 25 | | Máx. 35 | máx. 35 | máx. 35 | máx. 35 | min. 36 | min. 36 | min. 36 | min. 36 | min. 36 |
| Características de la fracción que pasa el 0.425 (N° 40) | | | | | | | | | | | | |
| Características de la fracción que pasa del tamiz (N° 40) | | | | | | | | | | | | |
| LL: Límite de Líquido | | | | máx. 40 | min. 41 | máx. 40 | min. 41 | máx. 40 | Min. 41 | máx. 40 | min. 41 | min. 41 |
| IP: Índice de Plasticidad | máx. 6 | máx. 6 | NP | máx. 10 | máx. 10 | min. 11 | min. 11 | máx. 10 | máx. 10 | min. 11 | min. 11 ^(a) | min. 11 ^(b) |
| Tipo de material | Piedras, gravas y arenas | | Arenas Finas | Gravas y arenas limosas o arcillosas | | | | Suelos limosos | | Suelos arcillosos | | |
| Estimación general del suelo como sub rasante | Exelente a bueno | | | | | | Regular a insuficiente | | | | | |

(a) Índice de Plasticidad del subgrupo A-7-5: es igual o menor que LL-30.
(b) Índice de Plasticidad del subgrupo A-7-6: es mayor que LL-30.
- Cuando se requiera relacionar los grupos con el Índice de Grupo (IG), estos deben mostrarse entre paréntesis después del símbolo del grupo, ejemplo: A-18:182-6 (3), A-4(5),A-7-5 (17), etc
 $IG = (F-35) [0.2+0.005 ((LL-40))] +0.01 (F-15)(IP-10)$.

Figura 9. Clasificación de los suelos basada en ASSHTO

Fuente: recuperado de “Manual de carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y pavimentos”, MTC, 2014, p.34, Lima, Perú.

Esta clasificación se divide en 7 grupos (A-1, A-2, A-3, A-4, A-5, A-6, A-7), basado en sus estados de consistencia (Limite líquido y limite plástico), así como su análisis granulométrico.

(Montejo Fonseca, 2002, p.44)

2.2.3.4. Compactación de suelos.

La compactación es el proceso mediante el cual aumenta el peso volumétrico de un suelo. Para efectos de control durante la construcción, es necesario conocer la máxima densidad seca y el óptimo contenido de humedad de los distintos tipos de suelos.

- **Máxima densidad:** máximo peso seco, producto de la compactación del material mediante la mezcla de diferentes porcentajes de agua.
- **Óptimo contenido de humedad:** es el porcentaje de agua necesaria para obtener la máxima densidad seca del suelo. (Montejo Fonseca, 2002, p. 64)

Entre los ensayos para determinar estos valores, está el ensayo de Proctor Estándar y Proctor modificado, la diferencia entre ambos es la energía de compactación empleada, donde la energía usada en el ensayo de Proctor modificado es 4.5 veces superior a la de Proctor estándar.

2.2.3.4.1. Ensayo Proctor Modificado

Para la aplicación de este ensayo existen 3 métodos:

METODO A

- Molde: 4”
- Material: partículas que pasan el tamiz N°4
- N° capas: 5
- Golpes por capa: 25

Este método se utiliza cuando las partículas del material quedan retenidas en el tamiz N°4 en un 20% a menos

METODO B

- Molde: 4”
- Material: partículas que pasan el tamiz de 3/8”
- N° capas: 5
- Golpes por capa: 25

Este método es usado cuando el material queda retenido en la malla de 3/8” en un 20% a menos y en la malla N°4 de 20% a más.

METODO C

- Molde: 6”
- Material: partículas que pasan el tamiz de 3/4”
- N° capas: 5
- Golpes por capa: 56

Este método será usado cuando el material queda retenido en la malla de 3/4” de un 30% a menos y en la malla de 3/8” de un 20%

a más. (Manual de ensayo de materiales MTC (2016), p. 105 y p.106)

La cantidad de material utilizado para este ensayo es de 16 kg aproximadamente para el método A y B, y de 29 kg para el método C de suelo seco.

Procedimiento del ensayo.

Según (Manual de ensayo de materiales MTC (2016), p. 110)

Preparar de 4 a 5 especímenes con contenido de agua lo más cercano al óptimo. (el óptimo contenido de humedad es frecuentemente cercano y menor que el límite plástico LL); los incrementos de contenido de agua no deben exceder de 4%.

Para el método A y B aproximadamente se utiliza 2.3 kg, mientras que para el método C un aproximado de 5.9 kg.

Luego se toma nota de la masa del molde y plato de la base.

Se ensambla correctamente y se asegura el molde y el collar a la base. Asegurarse que el molde sea colocado en una base uniforme y rígida.

Se deja caer el pisón, compactando cada espécimen por el número de capas y golpes de acuerdo al método seleccionado.

Se enrasa la superficie compactada haciendo uso de un cuchillo o regla de metal, sin permitir el desgarro del suelo bajo la parte superior del molde.

Se toma nota de la masa del molde, el espécimen de suelo y el plato base.

Extraer una muestra de 500g y determinar su contenido de humedad.

Aplicar las siguientes ecuaciones:

Ecuación 6. Densidad húmeda del espécimen compactado

$$\rho_m = 1000x \frac{(M_t - M_{md})}{V} \dots\dots\dots (6)$$

Donde:

ρ_m : Densidad Húmeda del espécimen compactado (Mg/m^3)

M_t : masa del espécimen húmedo y molde (kg)

M_{md} : masa del molde de compactación (kg)

V : volumen del molde de compactación (m^3)

Ecuación 7. Densidad seca del espécimen compactado

$$\rho_d = \frac{\rho_m}{1 + \frac{W}{100}} \dots\dots\dots (7)$$

Donde:

ρ_d : Densidad seca del espécimen compactado (Mg/m^3)

W : contenido de agua %

Ecuación 8. Peso unitario seco del espécimen compactado

$$\gamma_d = 62.43 \rho_d \text{ lbf/pe}^3 \dots\dots\dots (8)$$

$$\gamma_d = 9.807 \rho_d \text{ KN/m}^3$$

γ_d : peso unitario seco del espécimen compactado.

2.2.3.5. Resistencia del suelo

Este factor va encaminado con los ensayos anteriores con el fin de conseguir una mayor estabilidad mecánica, haciendo que las tensiones se transmitan de manera uniforme. Para los ingenieros de carreteras, este valor es el más importante.

- Capacidad Portante: se define como la carga que es capaz de soportar el suelo sin producir deformaciones.

El índice CBR (California Bearing Ratio) es el indicador que determina la capacidad portante del suelo.

Para la determinación de este valor lo primero que se debe hacer es colocar la muestra de suelo en la etapa hinchamiento, la cual consiste en someter a inmersión la muestra durante 4 días, aplicando una sobrecarga permisible de acuerdo al uso de la carretera. Este procedimiento tiene gran importancia más aun en suelos arcillosos o con alto contenido de finos, los que provocan asentamientos diferenciales

El siguiente paso es el ensayo de penetración, el cual tiene como finalidad determinar la capacidad portante del suelo, mediante la aplicación de presión creciente, efectuada mediante una prensa a la que va acoplado un pisón de sección anular, sobre una muestra de suelo con una humedad optima de Proctor, la velocidad con la que se debe realizar la penetración del suelo debe ser de 1.27 mm/min.

El índice de CBR debe estar expresada en tanto por ciento mediante la siguiente ecuación:

Ecuación 9. CBR

$$CBR = \frac{\text{Presion en muestra problema}}{\text{Presion en muestra patrón}} \times 100 \dots\dots\dots (9)$$

Por lo general se toman pares de valores presión-penetración. Se toman los valores a una profundidad de 2.54mm y 5.08mm, comparándose con los valores del suelo patrón. Para el índice CBR se toma el valor más alto.

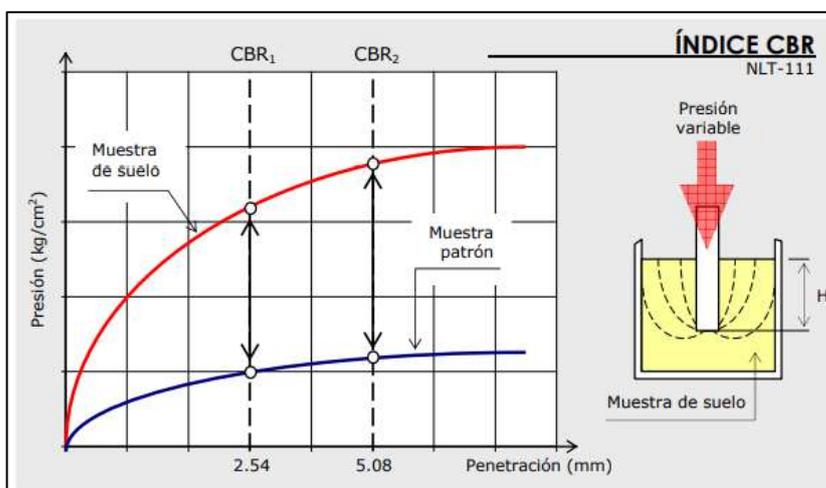


Figura 10. Determinación del índice CBR

Fuente: recuperado de “Manual de carreteras, Volumen II: construcción y mantenimiento”, de Bañon, L y Beviá, J., 2000, p.14, España, Alicante: Ortiz e Hijos, Contratista de Obras, S.A

2.2.4. Mejoramiento de suelos

Método de construcción que busca proteger y dar firmeza a estructuras en determinadas circunstancias, hoy en día se han implementado una gran variedad de técnicas en diferentes países para mejorar el tratamiento de los suelos.

El mejoramiento de un suelo, consiste en la alteración de una o varias características del suelo, logrando ser una solución para posteriormente permitir la construcción de alguna obra. Entre las propiedades que por lo general se desea

mejorar tenemos: la resistencia, rigidez, reducción de permeabilidad, etc. El mejoramiento de suelo se da mediante una acción física o la inclusión o mezcla de algún otro material.

2.2.5. Estabilización de suelos

Como sabemos no siempre se encuentra un suelo adecuado o en óptimas condiciones para iniciar un proceso constructivo sobre ellos, que garantice estabilidad y durabilidad. La estabilización de suelos permite reemplazar un suelo de baja calidad por otro estabilizado y mejorado, de tal forma que controla su estabilidad volumétrica, aumenta la resistencia, mejora su permeabilidad, entre otros.

La estabilización puede ser mecánica y química. La estabilización mecánica se emplea en carreteras mediante compactación del terreno natural con otro suelo exportado. La estabilización química, o también llamado mejoramiento de suelos, se da cuando se añade determinadas cantidades de aditivo.

La estabilización química puede realizarse “in situ”, este tipo de estabilización se puede dividir a su vez en técnicas de mezcla húmeda y mezcla seca; la primera en el caso de lechadas de cemento y la segunda como es el caso de mezclas con cal y cemento.

Tipos de estabilización:

- Estabilización mecánica de suelos
- Estabilización por combinación de suelos

- Estabilización por sustitución de los suelos
- Estabilización química

2.2.5.1. Estabilización mecánica de suelos

Mejora el material de suelo existente sin cambiar su composición y estructura. Para lograr este tipo de estabilización se utiliza la compactación lo cual elimina el volumen de vacíos.

2.2.5.2. Estabilización por combinación de suelos

Se realiza mediante la combinación de materiales de suelo natural y de préstamo.

Para este procedo en primer lugar se debe escarificar a 15cm de profundidad del suelo existente y luego colocar el material de préstamo, Lo siguiente es humedecer los materiales hasta alcanzar la humedad apropiada de compactación y previa eliminación de partículas mayores a 75mm. Luego se mezcla ambos suelos, se conforma y compacta.

2.2.5.3. Estabilización por sustitución de los suelos

Este tipo de estabilización consiste en reemplazar un suelo por otro que cuente con características optimas. Tenemos dos casos el primero sea que se construya directamente en el terreno natural existente o que se excave previamente y se reemplace por el material de adición.

2.2.5.4. Estabilización química

Consiste en la adición de un aditivo que al combinarse reacciona químicamente con el suelo natural, ocasionando el mejoramiento de sus propiedades físicas y mecánica.

2.2.5.4.1. Suelos Estabilizados Con Escoria

Hoy en día las escorias de acería o de hornos de fundición se emplean en muchas partes del mundo, como es el caso de la fabricación de cemento, agregados en la fabricación de hormigón, como material de base y sub base en pavimentos, estabilización de sub rasante, en la carpeta asfáltica formando parte del ligante bituminoso.

Al emplearse este subproducto en construcción se evita explotar nuevas canteras, se reduce el consumo de energía y combustible y se reducen emisiones de CO₂ al ambiente.

En suelos estabilizados con escoria y cal el porcentaje en peso de cal se encuentra en 1.5 y 3% y de la escoria entre 35% - 45% en volumen. Este tipo de mezclas facilita los trabajos de mantenimiento sin desgastar las cuchillas de motoniveladoras ni formar estrías en la calzada.

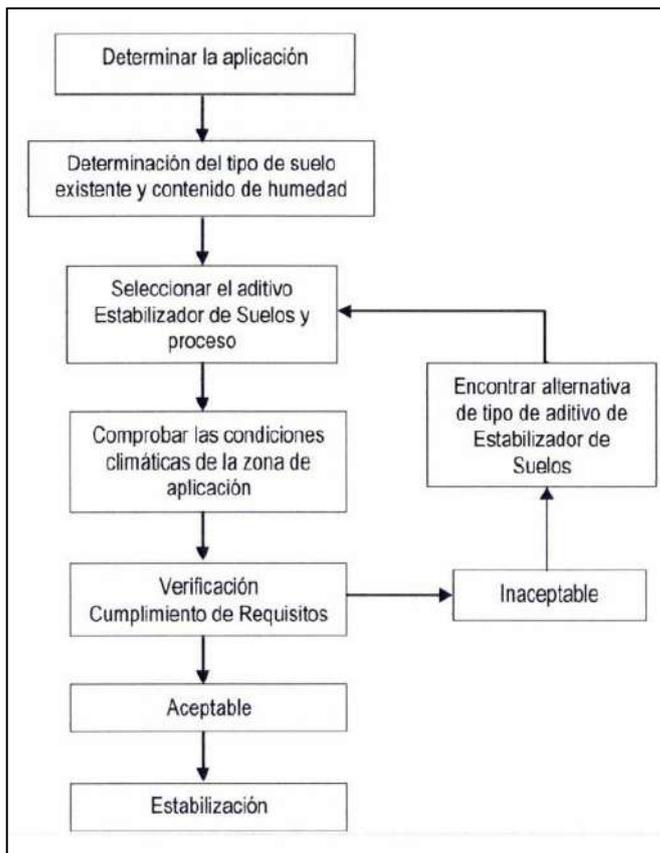


Figura 11. Proceso de selección del tipo de estabilización

Fuente: Recuperado del “Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos”, de MTC, 2014, p.95, Lima, Perú

Según el Manual de Carreteras; Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos (2014) existen criterios geotécnicos para la estabilización, estos son:

Para ser considerado un material apto como sub rasante, el suelo debe presentar un $CBR \geq 6\%$, en caso contrario el ingeniero responsable deberá analizar diversas alternativas de solución como: estabilización mecánica, reemplazo de suelo, estabilización mediante geotextiles, pedraplenes, arena, elevar la rasante o cambiar el trazo vial si en todo caso las alternativas con costosas y complejas.

Cuando la capa de subrasante es arcillosa o limosa y al humedecerse, las partículas de estos materiales pueden penetrar en las capas granulares del

pavimento contaminándolas, se deberá proyectar una capa de material anticontaminante de 10cm mínimo de espesor o un geotextil.

La superficie de la sub rasante debe quedar 60cm como mínimo por encima del nivel de la capa freática cuando se trate de una sub rasante extraordinaria o buena; 80cm cuando se trata de una subrasante buena y regular, a 1m cuando se trata de una sub rasante pobre y a 1.2m cuando se trate de una sub rasante inadecuada. En caso necesario se colocarán subdrenes o capas anticontaminantes y/o se elevará la sub rasante hasta el nivel necesario.

2.2.6. Pavimento

2.2.6.1. Definición

(Montejo. 2002, p.2) en su libro *“Ingeniería de pavimentos para ingeniería”* se denomina pavimento al conjunto de capas superpuestas relativamente horizontales que se diseñan y constituyen técnicamente con materiales apropiados y adecuadamente compactados. Estas capas se apoyan sobre la sub rasante de una vía obtenida por el movimiento de tierras.

2.2.6.2. Características que debe reunir un pavimento

- Resistente a las cargas impuestas por el tránsito.
- Resistente a los agentes de intemperismos.
- Resiste al desgaste producido por el efecto abrasivo de las llantas de los vehículos.
- Debe ser durable.

- Presentar condiciones adecuadas para el drenaje.
- Debe ser económico.

2.2.6.3. Clasificación de los pavimentos

2.2.6.3.1. *Pavimento Flexible*

Pavimento formado por una carpeta bituminosa apoyada sobre dos capas no rígidas, la base y la subbase. Sin embargo, puede prescindirse de cualquiera de estas capas dependiendo de la necesidad de la obra.

Entre las capas de pavimento flexible tenemos la subbase granular, base granular, y carpeta.



Figura 12. Pavimento Flexible

Fuente: recuperado de “Mejoramiento de suelos arcillosos utilizando cauchos granular de neumáticos para fines constructivos de pavimentos”, 2014, p.33, Cajamarca, Perú.

2.2.6.3.2. *Pavimento Semi-rigidos*

Aunque este tipo de pavimentos guarda básicamente la misma estructura de un pavimento flexible, una de sus capas se encuentra rigidizada artificialmente con un aditivo que puede ser:

asfalto, emulsión, cemento. Cal y químicos. Estos aditivos tienen por finalidad corregir o modificar las propiedades mecánicas de los materiales locales que no son aptas para la construcción de capas del pavimento, teniendo en cuenta que los adecuados son de difícil acceso.

2.2.6.3.3. Pavimentos Rígidos

Fundamentalmente están constituidos por una losa de concreto hidráulico apoyado sobre la subrasante o una capa de material seleccionado, la cual se denomina subbase. Debido a una alta rigidez del concreto los esfuerzos se distribuyen en una zona muy amplia. La capacidad estructural de un pavimento rígido depende de la resistencia de las losas, por ende, el apoyo de las capas subyacentes ejerce poca influencia en el diseño del espesor del pavimento.

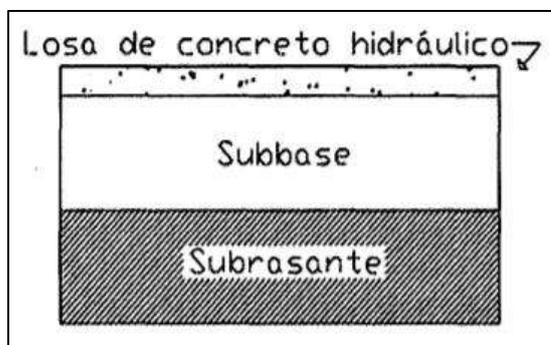


Figura 13. Pavimento Rígido

Fuente: recuperado de “Mejoramiento de suelos arcillosos utilizando cauchos granular de neumáticos para fines constructivos de pavimentos”, 2014, p.34, Cajamarca, Perú.

2.2.6.3.4. Pavimentos Articulados

Pavimentos compuestos por una capa de rodadura elaborada por bloques de concreto prefabricados llamados adoquines. Esta puede ir sobre una capa delgada de arena la cual se apoya sobre una capa de base granular o directamente sobre la subrasante.

2.2.6.4. Factores a considerar en el diseño de Pavimentos

2.2.6.4.1. El Tránsito

Factor que se utiliza para el dimensionamiento de los pavimentos. La repetición de las cargas del tránsito y la consecuente acumulación de deformaciones sobre el pavimento (fatiga)

2.2.6.4.2. La Sub rasante

El espesor que debe tener el pavimento depende la calidad de esta capa. Los parámetros para evaluar esta capa son los siguientes: capacidad de soporte o resistencia a la deformación por esfuerzo cortante bajo las cargas de tránsito. Se deberá tener en cuenta la sensibilidad del suelo ante la humedad tanto para su resistencia como para variaciones de volumen, ya que cuando existe una variación de volumen de esta capa podrían ocasionar graves daños en las estructuras que se apoyen en ella; por tal razón cuando se construya el pavimento sobre esta capa deberá tomarse en cuenta impedir la variación de humedad del suelo lo que conllevaría a una posible impermeabilización de la estructura.

Otra de las soluciones ante este problema sería la estabilización de suelos mediante el uso de algún aditivo.

2.2.6.4.3. *El Clima*

Las lluvias y los cambios de temperatura son los principales factores que pueden afectar a un pavimento.

Por su acción directa las lluvias en la elevación del nivel freático influyen en la resistencia, compresibilidad y cambios volumétricos de los suelos de subrasante especialmente.

Los cambios de temperatura en el caso de las losas de pavimentos rígidos ocasionan esfuerzos elevados por las cargas de los vehículos que circulan sobre ellas; en el caso de pavimentos flexibles el aumento o disminución de temperatura puede ocasionar una modificación en el módulo de elasticidad de las capas asfálticas, conllevando deformaciones o agrietamientos en la vía.

2.3. Definición de términos

Terraplén: Es un suelo con que se rellena un terreno para levantar su nivel y posteriormente albergar sobre el, una obra civil. (Espinoza Ortega & Escobar Mariño, 2019, p. 27)

Fuerzas de cohesión; fuerzas que generan atracción de partículas y las mantienen unidas. (Olivos Velasquez, 2015, p. 53)

Balastro: material empleado internacionalmente en la construcción de líneas férreas, como árido de granulometría variable entre aproximadamente 4 a 15cm.

Cribado: procedimiento para la separación de partículas por tamaños.

Capacidad portante: capacidad de un terreno para soportar cargas que son aplicados sobre el. (Archenti Zegarra, 2018, p. 65)

Escarificación de suelos: disgregación de una superficie de terreno para posteriormente compactar con la finalidad de homogeneizar la superficie de apoyo.

Pedraplén: elemento constructivo a base de materiales pétreos, expandidos y compactados. (Espinoza Ortega & Escobar Mariño, 2019, p. 27)

2.4. Marco Normativo

- **NTP 339.089 SUELOS. Obtención en laboratorio de muestras representativas (cuarteo)**

Esta Norma Técnica que establece procedimientos para obtener una muestra representativa necesaria para realizar los ensayos.

- **NTP 339.090 - SUELOS. Preparación en seco de muestras para el análisis granulométrico y determinación de las constantes del suelo**

Esta Norma Técnica indica los procedimientos para la preparación de las muestras de suelo que se utilizaran en los ensayos de análisis granulométrico y determinación de constantes de suelo.

- **NTP 339.136 - SUELOS. Símbolos, unidades, terminología y definiciones**

Esta Norma Técnica Peruana presenta un listado de los símbolos, unidades, terminologías y definiciones usados frecuentemente en mecánica de suelos.

- **NTP 339.127 - SUELOS. Método de ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo.**

La presente Norma establece el método de ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo.

- **NTP 339.129 - SUELOS. Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico, e índice de plasticidad de suelos**

Esta Norma Técnica establece métodos de ensayo para determinar el límite líquido, plástico e índice de plasticidad de una muestra de suelos.

- **NTP 339.134 - SUELOS. Método para la clasificación de suelos con propósitos de ingeniería (sistema unificado de clasificación de suelos**

Este método describe un sistema para la clasificación de suelos minerales y orgánico minerales con propósitos de ingeniería, basado en las características de granulometría, límite líquido e índice plástico,

- **NTP 339.131 - SUELOS. Método de ensayo para determinar el peso específico relativo de las partículas sólidas de un suelo**

Esta Norma Técnica Peruana establece el método de ensayo para determinar el peso específico relativo de las partículas sólidas de suelo por medio de un picnómetro

- **NTP 339.141 - SUELOS. Método de ensayo para la compactación del suelo en laboratorio utilizando una energía modificada (2 700 kN-m/m³ (56 000 pie-lbf/pie³))**

Esta Norma Técnica establece el método de ensayo para la compactación del suelo en laboratorio utilizando una energía modificada (2,700 kN-m/m³ (56,000 pie-lbf/pie³)).

- **NTP 339.145 - SUELOS: Método de ensayo de CBR (Relación de soporte de California) de suelos compactados en laboratorio**

Esta norma permite mediante ensayos determinar la resistencia de los suelos,

CAPÍTULO III.

MATERIALES Y

MÉTODOS

3.1. Tipo de investigación

- Aplicada

Este trabajo de investigación es de tipo aplicada porque las variables al ser manipuladas para encontrar una solución se consolidarán cuando sean aplicados en el ámbito real.

3.2. Nivel de investigación

- Experimental

Este trabajo de investigación es de nivel experimental puesto que las variables planteadas han sido manipuladas mediante ensayos de laboratorio.

Diseño experimental

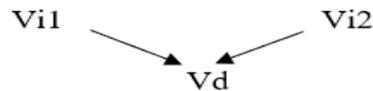
Para iniciar nuestro diseño experimental, en primer lugar, se realizó la obtención de todos los materiales mencionados en este proyecto, es decir el suelo de subrasante del mercado La Perla, obtenido mediante la excavación de calicatas de 1.50m de profundidad, así como escoria de hornos eléctricos brindados por la siderúrgica SiderPerú; ambos materiales obtenidos mediante solicitudes a su junta directiva y corporativa respectivamente.

Posteriormente ambos materiales fueron llevados al laboratorio de suelos de la Universidad Nacional del Santa, con el fin de evaluar ambos materiales y realizar los ensayos pertinentes para la obtención de sus propiedades.

Para las mezclas de suelo natural con escoria de horno eléctrico, se tuvo en cuenta las proporciones de 15%, 25% y 40% de dicho residuo, por ello las cantidades se midieron en pesos, por calicata.

Para la comparación de resultados y hacer valida nuestra hipótesis, se inició evaluando el suelo del terreno natura, sin ninguna adición de escoria valga la redundancia.

Cada ensayo realizado en el laboratorio de suelos de la Universidad Nacional del Santa fue en de acuerdo a las normas del MTC.



Vi1: Escoria de horno eléctrico

Vi2: Mejoramiento de la subrasante

Vd: Diseño óptimo del pavimento

3.3. Unidad de análisis

Suelo extraído del mercado La Perla y sus distintas combinaciones con escoria de hornos eléctricos.

3.4. Ubicación

Localidad : Mercado La Perla

Distrito : Chimbote

Provincia : Santa

Región : Ancash

3.5. Población y muestra

3.5.1. Población

Es población finita, ya que se tomó el suelo de la subrasante delimitado por el mercado “La Perla”, ubicado en el distrito de Chimbote, provincia del Santa, departamento de Ancash.

3.5.2. Muestra

No probabilística. Para obtener las características físicas y mecánicas, así como la clasificación de suelo que presenta la subrasante de este mercado y a partir de ello realizar un mejoramiento de la misma con el fin de evaluar y obtener el diseño óptimo de pavimento para este mercado, es que se realizó la excavación de 04 calicatas de 1.5m de profundidad, de acuerdo al Manual de Carreteras: “Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos”, el cual en el cuadro 4.1 indica que el número de calicatas para explotación de suelos es de 02 por kilómetro; esto debido a que carecimos del permiso y accesibilidad para hacer uso de todas las vías del mercado, ya que al hacer calicatas podríamos obstaculizar el tránsito vehicular.

| Tipo de Carretera | Profundidad (m) | Número mínimo de Calicatas | Observación |
|---|--|--|--|
| Autopistas: carreteras de IMDA mayor de 6000 veh/día, de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles | 1.50 m respecto al nivel de sub rasante del proyecto | <ul style="list-style-type: none"> Calzada 2 carriles por sentido: 4 calicatas x km x sentido Calzada 3 carriles por sentido: 4 calicatas x km x sentido Calzada 4 carriles por sentido: 6 calicatas x km x sentido | Las calicatas se ubicarán longitudinalmente y en forma alternada |
| Carreteras Duales o Multicarril: carreteras de IMDA entre 6000 y 4001 veh/día, de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles | 1.50 m respecto al nivel de sub rasante del proyecto | <ul style="list-style-type: none"> Calzada 2 carriles por sentido: 4 calicatas x km x sentido Calzada 3 carriles por sentido: 4 calicatas x km x sentido Calzada 4 carriles por sentido: 6 calicatas x km x sentido | |
| Carreteras de Primera Clase: carreteras con un IMDA entre 4000-2001 veh/día, de una calzada de dos carriles. | 1.50 m respecto al nivel de sub rasante del proyecto | <ul style="list-style-type: none"> 4 calicatas x km | Las calicatas se ubicarán longitudinalmente y en forma alternada |
| Carreteras de Segunda Clase: carreteras con un IMDA entre 2000-401 veh/día, de una calzada de dos carriles. | 1.50 m respecto al nivel de sub rasante del proyecto | <ul style="list-style-type: none"> 3 calicatas x km | |
| Carreteras de Tercera Clase: carreteras con un IMDA entre 400-201 veh/día, de una calzada de dos carriles. | 1.50 m respecto al nivel de sub rasante del proyecto | <ul style="list-style-type: none"> 2 calicatas x km | |
| Carreteras de Bajo Volumen de Tránsito: carreteras con un IMDA ≤ 200 veh/día, de una calzada. | 1.50 m respecto al nivel de sub rasante del proyecto | <ul style="list-style-type: none"> 1 calicata x km | |

Figura 14. Número de calicatas para exploración de suelos

Fuente: Recuperado del “Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos”, de MTC, 2014, p.26, Lima, Perú

Tabla 10.
Ubicación de Calicatas

| Calicata | Ubicación | Profundidad de calicata |
|----------|----------------|-------------------------|
| C-01 | 8993585.83 m S | 1.5m |
| | 768834.41 m E | |
| C-02 | 8993446.64 m S | 1.5m |
| | 768739.81 m E | |
| C-03 | 8993330.81 m S | 1.5m |
| | 768553.35 m E | |
| C-04 | 8993373.00 m S | 1.5m |
| | 768686.00 m E | |

Fuente: *Elaboración propia*



Figura 15. Ubicación de calicatas en el mercado La Perla

Fuente: *Elaboración propia (imagen obtenida mediante Google Earth 2021)*

3.6. Variables

3.6.1. Variable independiente

- Escoria de horno eléctrico.
- Mejoramiento de la subrasante.

3.6.2. Variable dependiente

- Diseño óptimo del pavimento.

3.6.3. Matriz de consistencia

Ver Anexo 1

3.6.4. Operacionalización de variables

| Variable | Nombre de la variable | Definición conceptual | Definición operacional | Dimensiones | Indicadores | instrumentos | Escala de medición |
|---------------|----------------------------|--|--|-------------|---------------------------------------|---|---|
| Independiente | escoria de horno eléctrico | Residuo de horno eléctrico, el cual se genera de la fusión de la chatarra y otras adicciones, agregadas dentro del horno eléctrico tales como cal, calcina, carbón y ferroaleaciones, que constituye un residuo aprovechable en el sector de la construcción e infraestructura vial. | Para fines de análisis se trabaja con porcentajes de 15%, 25% y 40% del peso total de la muestra a mejorar | Física | Características físicas de la escoria | Color Forma de partícula | Ficha de observación (ver Anexo 7.2) Observación |
| | | | | Química | Análisis químico | Ficha de observación (ver Anexo 7.2) Observación | |

| | | | | | | |
|-------------------------------|---|---|-------------------|------------------------------------|-------------------------|--|
| Mejoramiento de la subrasante | El mejoramiento de un suelo, consiste en la alteración de una o varias características del suelo, logrando ser una solución para posteriormente permitir la construcción de alguna obra. Entre las propiedades que por lo general se desea mejorar tenemos: la resistencia, rigidez, reducción de permeabilidad, etc. El mejoramiento de suelo se da mediante una acción física o la inclusión o mezcla de algún otro material. | Para fines de análisis se trabaja con porcentajes de 15%, 25% y 40% del peso total de la muestra a mejorar, de tal manera que se puedan evaluar las propiedades mecánicas del suelo de subrasante mejorada. | Física y mecánica | características del suelo mejorado | Análisis granulométrico | Análisis granulométrico de suelos por tamizado (MTC E 107) |
| | | | | | Humedad | Determinación del contenido de humedad de un suelo (MTC E 108) |
| | | | | | Gravedad específica | Método del ensayo estándar para la gravedad específica de sólidos de suelo mediante picnómetro de agua (MTC E 113) |
| | | | | | Limite Plástico | Determinación del límite plástico de los suelos e índice de plasticidad (MTC E 111) |
| | | | | | Limite Liquido | Determinación del límite liquido de los |

| | | | | | | | | | |
|-------------|-----------------------------|--|---|-----------|--|--|--|--|---|
| | | | | | | | | | suelos (MTC E 110) |
| | | | | | | | | | Proctor Modificado |
| | | | | | | | | | Compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada (MTC E 111) |
| | | | | | | | | | CBR en laboratorio (MTC E 132) |
| Dependiente | Diseño óptimo del pavimento | conjunto de capas superpuestas relativamente horizontales que se diseñan y constituyen técnicamente con materiales apropiados adecuadamente compactados. | Para fines de cálculos se tomará el valor de CBR del suelo de subrasante mejorada con el porcentaje de escoria de horno eléctrico como aditivo. | | | | | | |
| | | | | normativa | | | | | |
| | | Estas capas se apoyan sobre la subrasante de una vía obtenida por el movimiento de tierras. | | | | | | | |
| | | | | | | | | | Pavimento flexible |
| | | | | | | | | | Pavimento semi rígido |
| | | | | | | | | | software (Excel) |
| | | | | | | | | | nominal |
| | | | | | | | | | Pavimento Rígido |

Fuente: *Elaboración propia*

3.7. Instrumentos

En primer lugar, se solicitó a la directiva del mercado La Perla, para poder iniciar los trabajos de excavación de calicatas, a lo cual la respuesta fue positiva, pero con la condición de utilizar un área determinada puesto que no podíamos obstaculizar el paso de vehículos en ninguna vía y mucho menos el tránsito peatonal de consumidores, vendedores y proveedores.

Una vez obtenida las muestras de suelo por calicata, fueron llevadas al laboratorio de suelos de la Universidad Nacional del Santa para iniciar los ensayos respectivos. Dichos ensayos permitieron identificar el tipo de suelo de la subrasante del mercado, así como también sus propiedades físicas (contenido de humedad, índice de plasticidad, límite líquido) y mecánicas (máxima densidad seca y CBR), tanto del suelo del terreno natural como de las mezclas con adición de escorias de hornos eléctricos.

Los ensayos realizados en el laboratorio fueron en base a lo establecido en el Manual de carreteras – sección: suelos y pavimentos.

Entre las actividades realizadas en campo tenemos:

- Conteo de autos en horas punta, dato necesario para determinar el TPDA

Equipos y materiales

- Lapicero
- Libreta de apuntes

- Medición de ancho de calzada de las vías colectoras del mercado

Equipos y materiales

- Lapicero
- Libreta de apuntes

- Wincha

- Realización de calicatas a una profundidad de 1.50m

Equipos y materiales

- Palana
- Barreta
- Wincha
- Sacos y bolsas

Entre los ensayos realizados en el laboratorio de suelos, tenemos los siguientes:

- Análisis granulométrico de suelos por tamizado (MTC E 107)

Equipos y materiales

- juego de Tamices de malla cuadrada (N°2”, N°1 ½”, N° ¾”, N° ½” , N° 3/8” , N° 4, N° 10, N° 20, N° 40, N° 60, N°100, N°200, fondo y tapa)
- Maquina Tamizadora
- 01 balanza eléctrica con aprox. 1gr
- 01 balanza eléctrica con aprox. 0.01gr
- Recipientes
- 01 cucharón metálico
- 01 cepillo
- Horno eléctrico a temperatura uniforme de 110 ± 5 °C

- Determinación de contenido de humedad (MTC E 108)

Equipos y materiales

- Horno de secado capaz de mantener una temperatura de $110 \pm ^\circ\text{C}$
- Balanza eléctrica
- Recipientes de material resistente a la corrosión y cambio de peso, cuando sea sometido a calentamiento o enfriamiento continuo.
- Guantes, tenazas o sujetador para manipular los recipientes calientes
- Espátula

- Método de ensayo estándar para la gravedad específica de sólidos de suelo mediante picnómetro de agua (MTC E 113)

Equipos y materiales

- Picnómetro de 250cm³
- 01 balanza eléctrica con aprox. 0.01gr
- Agua destilada
- Recipiente de aluminio
- Estufa eléctrica
- 01 cucharón metálico
- Horno eléctrico
- Pipeta
- Embudo
- Espátulas

➤ Determinación de límite líquido (MTC E 110)

Equipos y materiales

- Recipiente de porcelana
- Copa de Casagrande
- Acanalador
- Horno eléctrico
- Tamiz N°40
- 01 espátula
- 01 balanza eléctrica con aprox. 0.01gr
- Taras
- Agua destilada

➤ Determinación de límite plástico e índice de plasticidad (MTC E 111)

Equipos y materiales

- 01 espátula
- Recipiente de porcelana
- 01 Balanza eléctrica con aprox. 0.01gr
- Agua destilada
- Horno eléctrico
- Tamiz N°40
- Vidrio esmerilado
- Taras

- Compactación de suelos en laboratorio, utilizando una energía modificada (Proctor Modificado) (MTC E 115)

Equipos y materiales

- Molde de 4”
- Pisón o martillo
- 01 balanza eléctrica con aprox. 1gr
- 01 balanza eléctrica con aprox. 0.01gr
- Horno eléctrico
- Bandejas
- Cucharones
- Espátula
- Probeta de 1000ml
- 01 regla metálica
- Taras

- CBR en laboratorio (MTC E 132)

Equipos y materiales

- Prensa hidráulica para CBR
- 01 pisón
- 03 moldes cilíndricos con placa de base y collar de extensión
- 03 placas de expansión
- 03 discos espaciadores
- 03 sobrecargas
- 03 trípodes
- Probeta de 1000ml

- 01 balanza eléctrica con aprox. 1gr
- 01 balanza electica con aprox. 0.01gr
- 01 regla metálica
- 01 tina
- Taras
- Diales de expansión
- Honro eléctrico
- Bandejas
- 01 espátula
- 01 cucharon

Cada dato obtenido, fue procesado en gabinete, mediante el uso de tablas y gráficos elaborados en Microsoft Excel.

3.8. Procedimientos

3.8.1. Ensayos ejecutados en campo

El primer trabajo realizado en campo, fue la toma de muestras de suelo, las cuales fueron obtenidos mediante la excavación de calicatas, en nuestro caso 04 hasta una profundidad de 1.50m.

- Se identificó el área disponible
- se ubicaron los puntos por kilómetro, evitando la obstaculización de actividades para el mercado
- se demarco el área de excavación, sientto 1.00m x 1.50m y se emplearon conos de seguridad para evitar accidente

-se dio inicio a la excavación de las calicatas a una profundidad de 1.50m con antelación de una limpieza superficial del área demarcada

-una vez llegada a la profundidad de 1.50m se extrajeron las muestras de suelo por cada excavación. Estas muestras fueron colocadas en sacos y bolsas, para luego ser trasladadas al laboratorio de suelos de la Universidad Nacional del Santa.

➤ **TPDA**

Para la obtención de este dato, se fue en horas punta (más transitadas) para realizar el conteo de vehículos que transitan por las vías colectoras del mercado, así como también identificar el tipo de vehículos que se desplazan en ellas.

3.8.2. Ensayos ejecutados en laboratorio

Una vez llevadas las muestras de suelo de las calicatas a una profundidad de 1.50m, estas fueron evaluadas en el laboratorio de suelos de la Universidad Nacional del Santa, mediante ensayos para subrasante de acuerdo al Manual de Ensayos de Materiales 2000(MTC)

➤ **Análisis Granulométrico de Suelos por Tamizado**

Como bien se sabe, este ensayo nos permite obtener la distribución por tamaño de partículas de suelo y de esta manera también su clasificación SUCS y AASHTO

-Se cuartea las muestras de suelo para obtener una muestra representativa de aproximadamente 1 kg.

-Para determinar el contenido de finos, se seca la muestra al aire libre

-Se pesa la muestra seca.

-Dicha muestra es pasada por el juego de tamices y colocados en la máquina tamizadora (tiempo = 10min)

-Una vez tamizado el material, se procede a pesar el material retenido en cada tamiz mediante el uso de la balanza eléctrica,

➤ **Determinación de contenido de humedad**

Este ensayo nos ayuda a determinar la cantidad de agua presente en el suelo expresada como porcentaje, del peso de agua en una masa de suelo.

-Como primer paso, se pesan los recipientes a utilizar.

-Se pesaron las muestras de suelos húmedas en los recipientes y se colocaron en el horno eléctrico por 24 horas.

-Con ayuda de los guantes se retiraron los recipientes del horno y se procedió a anotar sus pesos.

-Con los datos obtenidos se procedió a calcular el contenido de humedad.

➤ **Determinación de la gravedad específica de sólidos de suelo mediante picnómetro de agua**

Este ensayo permite calcular la relación de vacíos del suelo y grado de saturación.

-Para iniciar se realizó el cuarteo del material hasta obtener 100 gr de muestra representativa para la ejecución de este ensayo.

- Dicha muestra es llevado al horno eléctrico a una temperatura de 110 °C por un tiempo de 24 horas.
- Mediante el uso de guantes se retiró el recipiente que contenía la muestra representativa de suelo y se dejó enfriar.
- Se pesó la muestra
- Llenamos el picnómetro con agua destilada hasta la marca que contiene el recipiente y registramos su peso.
- Para verter la muestra de suelo, vertimos el agua destilada hasta las $\frac{3}{4}$ partes de su capacidad.
- Cuando la estufa ya este caliente, giramos de manera constante el picnómetro por un tiempo de 10 minutos, este proceso se realiza con el fin de eliminar el aire que se encuentra atrapado en el recipiente.
- Una vez eliminado el aire, completamos el volumen de agua destilada hasta la marca que se encuentra en el picnómetro.
- Dejamos reposar el picnómetro por 24 horas, volviéndose a enrasar con agua destilada y anotando su peso.

➤ **Determinación de limite líquido**

Viene a ser el contenido de humedad expresado en porcentaje, cuando el suelo se halla en el límite entre los estados líquido y plástico.

Este valor es utilizado para determinar la clasificación de un suelo mediante el sistema SUCS o AASHTO.

- Primero secamos la muestra de suelo y pasamos por el tamiz N°40
- En el recipiente de porcelana, colocamos 200 gr de muestra y agregamos de 15 a 20ml de agua destilada.
- Formamos una pasta uniforme y con la espátula colocamos una porción de pasta de suelo en la cazuela de la copa de Casagrande con un espesor de 1cm
- Con el acanalador hacemos una ranura en el centro de la cazuela, dividiendo la pasta de suelo en dos partes.
- Ahora giramos la manivela de la copa de Casagrande, elevando y dejando caer la cazuela a una velocidad de 1.9 a 2.1 golpes por segundo, hasta que las dos mitades de la pasta de suelo estén en contacto en la base de la ranura.
- Anotamos el número de golpes requeridos para cerrar la ranura.
- Con la espátula retiramos una tajada de suelo en una tara y llevamos al horno eléctrico por 24 horas
- Determinamos el contenido de humedad de la muestra colocada en el horno eléctrico
- Mezclamos nuevamente la muestra de suelo con agua destilada para aumentar su contenido de humedad y disminuir el número de golpes.
- Repetimos este procedimiento de tal modo que tengamos dos determinaciones sobre los 25 golpes y otros dos por debajo.

➤ **Determinación de límite plástico e índice de plasticidad**

El límite plástico viene a ser la humedad mas baja con la que se pueden formar barritas de suelo de 3.2mm de diámetro. Los valores de límite líquido, limite plástico e índice de plasticidad son valores que tanto individual como en

conjunto correlacionan el comportamiento del suelo como su compresibilidad, permeabilidad, compactibilidad, resistencia al corte.

-Pasamos la muestra de suelo por el tamiz N°40

-tomamos aproximadamente 20g de muestra y mezclamos con agua destilada haciendo uso del recipiente de porcelana.

-Amasamos la muestra hasta formar una esfera

-En la palma de nuestra mano enrollamos el suelo, colocamos sobre el vidrio esmerilado y formamos cilindros de 3mm de diámetro distribuidos uniformemente a lo largo.

-Cuando visualizamos agrietamientos transversales a lo largo de los pequeños cilindros de suelo, colocamos la muestra de suelo en taras y llevamos al horno eléctrico

-Determinamos el contenido de humedad de dicho suelo

-Realizamos el mismo procedimiento hasta obtener unos 6gr de suelo aproximadamente.

-El promedio de estos contenidos de humedad, es el valor de límite líquido plástico.

-Para determinar el índice de plasticidad, simplemente restamos el valor del límite líquido y límite plástico de una muestra de suelo.

➤ **Compactación de suelos en laboratorio, utilizando una energía modificada (Proctor Modificado)**

Mediante este ensayo determinamos la relación entre el contenido de agua y peso unitario seco de los suelos, realizando procedimientos de compactación.

- En primer lugar, seleccionamos el método a usar para este ensayo
- Se seleccionó el método A porque menos del 20% del peso del material fue retenido en el tamiz N°4
- Utilizamos aproximadamente 2.5kg de muestra seca.
- Preparamos la muestra de suelo adicionando agua, mezclamos hasta que se observe una mezcla homogénea
- Ensamblamos el molde cilíndrico con la placa de base, y mediante el uso de la balanza determinamos su peso.
- Colocamos el collar de extensión y colocamos la muestra de suelo dentro hasta 1/3 de la altura del molde.
- Con el pisón o martillo compactamos la primera capa con 25 golpes.
- colocamos otra cantidad de muestra de suelo hasta una altura de los 2/3 de altura del molde y nuevamente con el pisón compactamos esta capa con 25 golpes.
- Luego colocamos la última capa de muestra, y de igual manera compactamos con otros 25 golpes.
- Una vez compactadas las tres capas, retiramos el collar de extensión y enrasamos con la regla de aluminio.
- Colocamos el molde con la muestra compactada sobre la balanza y tomamos nota de su peso.

-Con el uso de la espátula retiramos dos muestras de suelo compactado de la parte superior e inferior del molde en una tara y llevamos hacia el horno eléctrico.

-Determinamos el contenido de humedad por cada espécimen.

-Repetimos el procedimiento agregando agua en un intervalo de 2%, de tal manera que al formar la curva Proctor, determinemos el punto máximo de la curva la cual nos indicará la máxima densidad seca y óptimo contenido de humedad.

➤ **CBR**

Este método es usado para evaluar la resistencia del suelo para usar en pavimentos, cuyo valor es empleado en el diseño de pavimentos.

-Preparamos la muestra de suelo, mezclándola con la cantidad de agua requerida para su óptimo contenido de humedad en el ensayo de compactación Proctor modificado.

-Ensamblamos el molde cilíndrico con la placa de base y pesamos en la balanza.

-En cada molde se coloca el papel filtro y las placas de expansión.

-Una vez colocadas las placas de expansión, colocamos el collar de extensión para colocar la muestra húmeda en 3 moldes hasta $1/5$ de la altura del molde y con ayuda del pisón se compacta la primera capa con 12 golpes, luego colocamos la segunda capa hasta los $2/5$ de altura del molde y así continuamos hasta completar las 5 capas.

-Repetimos el mismo proceso en tres moldes, con 5 capas y 26 golpes y tres moldes más con 5 capas y 55 golpes por capa.

- Luego retiramos el collar de extensión y con la regla metálica enrasamos el espécimen compactado.
- Invertimos el molde y se vuelve a montar sin el disco espaciador y se pesa.
- Antes de la inmersión en la tina, colocamos las sobrecargas sobre la placa perforada con vástago,
- Colocamos el trípode con el dial de deformaciones sobre el molde y se ajusta al vástago de la placa perforada.
- Registramos la lectura antes de sumergir los moldes
- Sumergimos los moldes en una tina con agua por un periodo de 4 días, es decir 96 horas
- Al final del periodo de inmersión, volvemos a leer el dial, para medir el hinchamiento.
- Retiramos los moldes de la tina con agua, de igual manera se retira el dial, el trípode, la sobrecarga y la placa de expansión.
- Dejamos drenar por unos 15 minutos.
- Pesamos el molde más el suelo y procedemos al ensayo de penetración.
- Colocamos la sobrecarga en cada molde e iniciamos el ensayo de penetración y colocamos el pisón de penetración
- Colocamos en cero el indicador de presión del anillo de carga y el dial de deformación.
- Iniciamos el ensayo aplicando la carga sobre el pisón con una velocidad uniforme de 0.05” por minuto
- Anotamos las lecturas de presión a 0.025, 0.05, 0.075, 0.1, 0.15. 0.20, 0.25, 0.3, 0.4, 0.4 pulgadas de penetración

-Finalmente desmontamos el molde y se toma de su parte superior, en la zona próxima a donde se hizo la penetración, dos muestras para determinar su humedad.

3.8.3. Diseño de pavimento

3.8.3.1. Pavimento Flexible

Este diseño de pavimento se realizó mediante plantillas Excel basado en el método AASHTO-1993.

En primer lugar, se necesitan los siguientes datos de tráfico y propiedades de la subrasante.

-Periodo de diseño en años (t)

-Tasa de crecimiento anual (g%); cuyo valor es brindado por el INEI

-Tráfico (W18); valor obtenido mediante el ESAL

Según el manual de carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y pavimentos, p.149

Para el caso del tráfico y del diseño de pavimentos flexibles, se definen tres categorías:

- a. Caminos de bajo volumen de tránsito, de 150,001 hasta 1'000,000 EE, en el carril y periodo de diseño
- b. Caminos que tienen un tránsito de 1'000,001 EE hasta 30'000,000 EE, en el carril y periodo de diseño.
- c. Caminos que tienen un tránsito mayor a 30'000,000 EE, en el carril y periodo de diseño.

| TIPOS TRÁFICO PESADO EXPRESADO EN EE | RANGOS DE TRÁFICO PESADO EXPRESADO EN EE |
|--------------------------------------|--|
| T _{P1} | > 150,000 EE ≤ 300,000 EE |
| T _{P2} | > 300,000 EE ≤ 500,000 EE |
| T _{P3} | > 500,000 EE ≤ 750,000 EE |
| T _{P4} | > 750,000 EE ≤ 1'000,000 EE |
| T _{P5} | > 1'000,000 EE ≤ 1'500,000 EE |
| T _{P6} | > 1'500,000 EE ≤ 3'000,000 EE |
| T _{P7} | > 3'000,000 EE ≤ 5'000,000 EE |
| T _{P8} | > 5'000,000 EE ≤ 7'500,000 EE |
| T _{P9} | > 7'500,000 EE ≤ 10'000,000 EE |
| T _{P10} | > 10'000,000 EE ≤ 12'500,000 EE |
| T _{P11} | > 12'500,000 EE ≤ 15'000,000 EE |
| T _{P12} | > 15'000,000 EE ≤ 20'000,000 EE |
| T _{P13} | > 20'000,000 EE ≤ 25'000,000 EE |
| T _{P14} | > 25'000,000 EE ≤ 30'000,000 EE |

Figura 16. Número de repeticiones acumuladas de ejes equivalentes de 8.2t en el carril de diseño

Fuente: recuperado de *Manual de carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y pavimentos*, p.151, Lima Perú

-Índice de confianza (R%); representa la probabilidad que una determinada estructura se comporte, durante su periodo de diseño, de acuerdo con lo previsto.

| TIPO DE CAMINOS | TRAFICO | EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS | | NIVEL DE CONFIABILIDAD (R) |
|-------------------------------------|-----------------------|------------------------------|----------------|----------------------------|
| Caminos de Bajo Volumen de Tránsito | T_{P0} | 100,000 | 150,000 | 65% |
| | T _{P1} | 150,001 | 300,000 | 70% |
| | T _{P2} | 300,001 | 500,000 | 75% |
| | T _{P3} | 500,001 | 750,000 | 80% |
| | T _{P4} | 750,001 | 1,000,000 | 80% |
| Resto de Caminos | T _{P5} | 1,000,001 | 1,500,000 | 85% |
| | T _{P6} | 1,500,001 | 3,000,000 | 85% |
| | T _{P7} | 3,000,001 | 5,000,000 | 85% |
| | T _{P8} | 5,000,001 | 7,500,000 | 90% |
| | T _{P9} | 7,500,001 | 10'000,000 | 90% |
| | T _{P10} | 10'000,001 | 12'500,000 | 90% |
| | T _{P11} | 12'500,001 | 15'000,000 | 90% |
| | T _{P12} | 15'000,001 | 20'000,000 | 95% |
| | T _{P13} | 20'000,001 | 25'000,000 | 95% |
| | T _{P14} | 25'000,001 | 30'000,000 | 95% |
| | T _{P15} | >30'000,000 | | 95% |

Figura 17. Valores recomendados de Nivel de confiabilidad para una sola etapa de diseño (10 o 20 años)

Fuente: recuperado de *Manual de carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y pavimentos*, p.154, Lima Perú

-Desviación estándar normal (ZR); representa el valor de la confiabilidad seleccionada, para un conjunto de datos en una distribución normal.

| TIPO DE CAMINOS | TRAFICO | EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS | | DESVIACIÓN ESTÁNDAR NORMAL (Zr) |
|-------------------------------------|------------------|------------------------------|-------------|---------------------------------|
| Caminos de Bajo Volumen de Tránsito | T _{P0} | 100,001 | 150,000 | -0.385 |
| | T _{P1} | 150,001 | 300,000 | -0.524 |
| | T _{P2} | 300,001 | 500,000 | -0.674 |
| | T _{P3} | 500,001 | 750,000 | -0.842 |
| | T _{P4} | 750,001 | 1,000,000 | -0.842 |
| Resto de Caminos | T _{P5} | 1,000,001 | 1,500,000 | -1.036 |
| | T _{P6} | 1,500,001 | 3,000,000 | -1.036 |
| | T _{P7} | 3,000,001 | 5,000,000 | -1.036 |
| | T _{P8} | 5,000,001 | 7,500,000 | -1.282 |
| | T _{P9} | 7,500,001 | 10'000,000 | -1.282 |
| | T _{P10} | 10'000,001 | 12'500,000 | -1.282 |
| | T _{P11} | 12'500,001 | 15'000,000 | -1.282 |
| | T _{P12} | 15'000,001 | 20'000,000 | -1.645 |
| | T _{P13} | 20'000,001 | 25'000,000 | -1.645 |
| | T _{P14} | 25'000,001 | 30'000,000 | -1.645 |
| | T _{P15} | | >30'000,000 | -1.645 |

Figura 18. Coeficiente estadístico de la Desviación Estándar Normal (Zr)

Fuente: recuperado de *Manual de carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y pavimentos*, p.156, Lima Perú

-Error de combinación estándar (So), obtenido mediante la siguiente tabla.

Tabla 11.

Error de combinación estándar

| | | | |
|-------------|---|-------------|----------------------|
| 0.30 | - | 0.40 | Pavimentos rígidos |
| 0.40 | - | 0.50 | Pavimentos flexibles |

Fuente: *Recuperado de Método AASHTO-1993, p. 84*

-Índice de serviciabilidad inicial (P_i); es la condición de una vía recientemente construida.

| TIPO DE CAMINOS | TRAFICO | EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS | | INDICE DE SERVICIABILIDAD INICIAL (P_i) |
|-------------------------------------|-----------|------------------------------|-------------|---|
| | | | | |
| Caminos de Bajo Volumen de Tránsito | T_{P1} | 150,001 | 300,000 | 3.80 |
| | T_{P2} | 300,001 | 500,000 | 3.80 |
| | T_{P3} | 500,001 | 750,000 | 3.80 |
| | T_{P4} | 750,001 | 1,000,000 | 3.80 |
| Resto de Caminos | T_{P5} | 1,000,001 | 1,500,000 | 4.00 |
| | T_{P6} | 1,500,001 | 3,000,000 | 4.00 |
| | T_{P7} | 3,000,001 | 5,000,000 | 4.00 |
| | T_{P8} | 5,000,001 | 7,500,000 | 4.00 |
| | T_{P9} | 7,500,001 | 10'000,000 | 4.00 |
| | T_{P10} | 10'000,001 | 12'500,000 | 4.00 |
| | T_{P11} | 12'500,001 | 15'000,000 | 4.00 |
| | T_{P12} | 15'000,001 | 20'000,000 | 4.20 |
| | T_{P13} | 20'000,001 | 25'000,000 | 4.20 |
| | T_{P14} | 25'000,001 | 30'000,000 | 4.20 |
| | T_{P15} | | >30'000,000 | 4.20 |

Figura 19. *Índice de serviciabilidad Inicial (P_i)*

Fuente: *recuperado de Manual de carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y pavimentos, p.158, Lima Perú*

-Índice de serviciabilidad final (pt); es la condición de una vía que ha alcanzado la necesidad de algún tipo de rehabilitación o reconstrucción

| TIPO DE CAMINOS | TRAFICO | EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS | | INDICE DE SERVICIABILIDAD FINAL (Pt) |
|-------------------------------------|------------------|------------------------------|-------------|--------------------------------------|
| Caminos de Bajo Volumen de Tránsito | T _{P1} | 150,001 | 300,000 | 2.00 |
| | T _{P2} | 300,001 | 500,000 | 2.00 |
| | T _{P3} | 500,001 | 750,000 | 2.00 |
| | T _{P4} | 750 001 | 1,000,000 | 2.00 |
| Resto de Caminos | T _{P5} | 1,000,001 | 1,500,000 | 2.50 |
| | T _{P6} | 1,500,001 | 3,000,000 | 2.50 |
| | T _{P7} | 3,000,001 | 5,000,000 | 2.50 |
| | T _{P8} | 5,000,001 | 7,500,000 | 2.50 |
| | T _{P9} | 7,500,001 | 10'000,000 | 2.50 |
| | T _{P10} | 10'000,001 | 12'500,000 | 2.50 |
| | T _{P11} | 12'500,001 | 15'000,000 | 2.50 |
| | T _{P12} | 15'000,001 | 20'000,000 | 3.00 |
| | T _{P13} | 20'000,001 | 25'000,000 | 3.00 |
| | T _{P14} | 25'000,001 | 30'000,000 | 3.00 |
| | T _{P15} | | >30'000,000 | 3.00 |

Figura 20. Índice de serviciabilidad Final (Pt)

Fuente: recuperado de Manual de carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y pavimentos, p.159, Lima Perú

-Diferencia de serviciabilidad ($\Delta PSI = p_i - p_t$)

-CBR de la sub rasante

-Módulo de Resiliencia; es una medida de la rigidez del suelo de subrasante, el cual para su cálculo se empleará la siguiente ecuación.

$$MR = 2555 \times CBR^{0.64}$$

En segundo lugar, necesitamos las características de los materiales en unidades psi

-Módulo de resiliencia del concreto asfáltico (M_r)

- Módulo de resiliencia de la Base granular (M_r)

- Módulo de resiliencia de la Sub Base granular (M_r)

Como tercer punto, calculamos los datos para estructuración del refuerzo.

-Coeficientes estructurales de capa.

- ✓ Concreto asfáltico convencional (a_1); para determinar este valor se requiere hacer uso de una gráfica de carpeta y así determinar su módulo elástico.

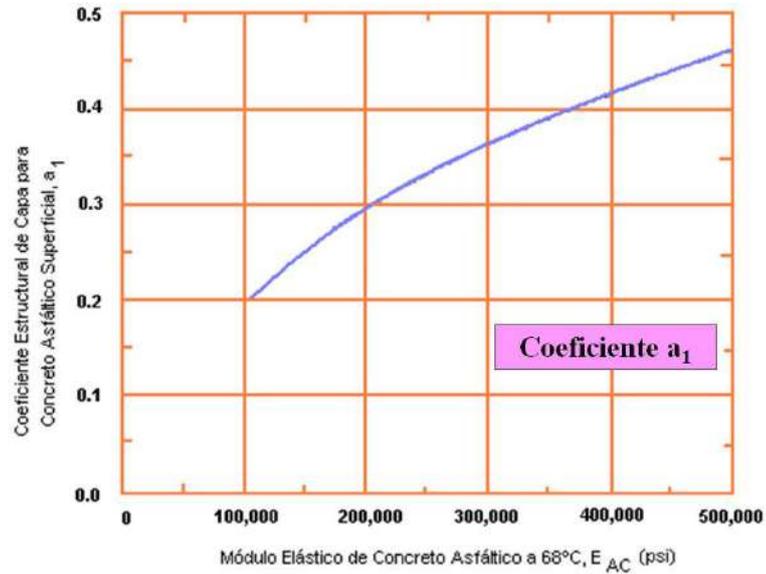


Figura 21. Módulo elástico de concreto asfáltico

Fuente: Recuperado de Método AASHTO-1993

- ✓ Base Granular (a₂); este valor se determina mediante la siguiente fórmula:

$$a_2 = 0.249 \times \log Mr - 0.977$$

- ✓ Sub base (a₃); este valor se determina mediante la siguiente fórmula:

$$a_3 = 0.227 \times \log Mr - 0.839$$

-Coeficientes de drenaje de capa; este valor depende de dos parámetros: la capacidad del drenaje que se determina de acuerdo al tiempo que tarda el agua en ser evacuada del pavimento, y el porcentaje de tiempo durante el cual el pavimento está expuesto a niveles de humedad próximos a la saturación en el transcurso del año.

| Calidad del Drenaje | Tiempo que tarda el agua en ser Evacuada |
|---------------------|--|
| Excelente | 2 horas |
| Bueno | 1 día |
| Regular | 1 semana |
| Malo | 1 mes |
| Muy malo | Agua no drena |

Figura 22. Capacidad de drenaje

Fuente: recuperado de Método AASHTO-1993

| Calidad del drenaje | Porcentaje de tiempo en que la nueva estructura de pavimentos está expuesta a niveles de humedad cercanos a la saturación | | | |
|---------------------|---|-----------|-----------|-------------|
| | Menos de 1% | 1 - 5% | 5 - 25% | Más del 25% |
| Excelente | 1.40-1.35 | 1.35-1.30 | 1.30-1.20 | 1.2 |
| Buena | 1.35-1.25 | 1.25-1.15 | 1.15-1.00 | 1 |
| Regular | 1.25-1.15 | 1.15-1.05 | 1.00-0.80 | 0.8 |
| Pobre | 1.15-1.05 | 1.05-0.80 | 0.80-0.60 | 0.6 |
| Deficiente | 1.05-0.95 | 0.95-0.75 | 0.75-0.40 | 0.4 |

Figura 23. Coeficientes de drenaje (mi) recomendados

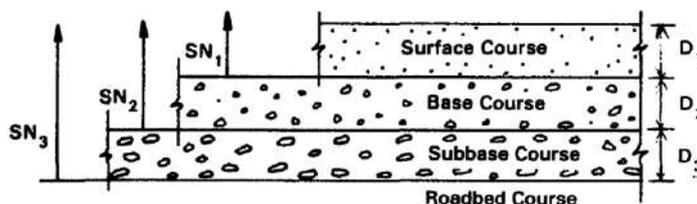
Fuente: recuperado de Método AASHTO-1993

Como cuarto punto, tenemos el número estructural del pavimento, el cual se basa primordialmente en identificar un número estructural (SN) que pueda soportar el nivel de carga solicitado.

Mediante la siguiente la siguiente fórmula y haciendo uso de iteraciones, se determina el valor SN (Numero estructural del pavimento)

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R \times S_o + 9.36 \times \log_{10}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \times \log_{10}(M_R) - 8.07$$

Ahora bien, para el cálculo de espesores de capas de la estructura del pavimento, se calculará con la ecuación de diseño presentada por la AAHTO-93, donde se interrelaciona con los espesores de la capa y drenaje según la expresión.



$$SN = a_1.D_1 + a_2.D_2.m_2 + a_3.D_3.m_3$$

Donde:

a: coeficiente estructural

D: espesor en pulgadas

m: coeficiente de drenaje

3.8.3.2. Pavimento Rígido

Para este diseño de pavimento, se utiliza concreto como superficie de rodadura con una considerable resistencia a la compresión.

En primer lugar, determinaremos los siguientes valores de acuerdo a las tablas del método AASHTO-93:

- Periodo de diseño en años (t)
- Tasa de crecimiento anual, según el INEI
- Tráfico; para este tipo de pavimento se definen tres categorías según las siguientes tablas.

a. Caminos de bajo volumen de tránsito, de 150,001 hasta 1'000,000 EE en el carril y periodo de diseño.

- b. Caminos que tienen un tránsito de 1'000,001 EE hasta 30'000,000 EE, en el carril y periodo de diseño.
- c. Caminos que tienen un tránsito mayor a 30'000,000 EE, en el carril y periodo de diseño.

| TIPOS TRÁFICO PESADO EXPRESADO EN EE | RANGOS DE TRÁFICO PESADO EXPRESADO EN EE |
|--------------------------------------|--|
| T _{P1} | > 150,000 EE ≤ 300,000 EE |
| T _{P2} | > 300,000 EE ≤ 500,000 EE |
| T _{P3} | > 500,000 EE ≤ 750,000 EE |
| T _{P4} | > 750,000 EE ≤ 1'000,000 EE |
| T _{P5} | > 1'000,000 EE ≤ 1'500,000 EE |
| T _{P6} | > 1'500,000 EE ≤ 3'000,000 EE |
| T _{P7} | > 3'000,000 EE ≤ 5'000,000 EE |
| T _{P8} | > 5'000,000 EE ≤ 7'500,000 EE |
| T _{P9} | > 7'500,000 EE ≤ 10'000,000 EE |
| T _{P10} | > 10'000,000 EE ≤ 12'500,000 EE |
| T _{P11} | > 12'500,000 EE ≤ 15'000,000 EE |
| T _{P12} | > 15'000,000 EE ≤ 20'000,000 EE |
| T _{P13} | > 20'000,000 EE ≤ 25'000,000 EE |
| T _{P14} | > 25'000,000 EE ≤ 30'000,000 EE |
| T _{P15} | > 30'000,000 EE |

Figura 24. Número de repeticiones acumuladas de ejes equivalentes de 8.2t - pavimentos rígidos

Fuente: recuperado de *Manual de carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y pavimentos*, p.263, Lima Perú

-Índice de serviciabilidad ($\Delta PSI = p_i - p_t$); se define como la capacidad del pavimento de servir al tránsito que circula por la vía, y se magnifica en una escala de 0 a 5, donde 0 significa una calificación de intransitable y 5 una calificación excelente. Para determinar este valor, se puede hacer uso de la siguiente tabla:

| TIPO DE CAMINOS | TRAFFICO | EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS | | INDICE DE SERVICIABILIDAD INICIAL (Pi) | INDICE DE SERVICIABILIDAD FINAL O TERMINAL (Pt) | DIFERENCIAL DE SERVICIABILIDAD (ΔPSI) |
|-------------------------------------|------------------|------------------------------|------------|--|---|---|
| | | | | | | |
| Caminos de Bajo Volumen de Tránsito | T _{P1} | 150,001 | 300,000 | 4.10 | 2.00 | 2.10 |
| | T _{P2} | 300,001 | 500,000 | 4.10 | 2.00 | 2.10 |
| | T _{P3} | 500,001 | 750,000 | 4.10 | 2.00 | 2.10 |
| | T _{P4} | 750,001 | 1,000,000 | 4.10 | 2.00 | 2.10 |
| Resto de Caminos | T _{P5} | 1,000,001 | 1,500,000 | 4.30 | 2.50 | 1.80 |
| | T _{P6} | 1,500,001 | 3,000,000 | 4.30 | 2.50 | 1.80 |
| | T _{P7} | 3,000,001 | 5,000,000 | 4.30 | 2.50 | 1.80 |
| | T _{P8} | 5,000,001 | 7,500,000 | 4.30 | 2.50 | 1.80 |
| | T _{P9} | 7,500,001 | 10'000,000 | 4.30 | 2.50 | 1.80 |
| | T _{P10} | 10'000,001 | 12'500,000 | 4.30 | 2.50 | 1.80 |
| | T _{P11} | 12'500,001 | 15'000,000 | 4.30 | 2.50 | 1.80 |
| | T _{P12} | 15'000,001 | 20'000,000 | 4.50 | 3.00 | 1.50 |
| | T _{P13} | 20'000,001 | 25'000,000 | 4.50 | 3.00 | 1.50 |
| | T _{P14} | 25'000,001 | 30'000,000 | 4.50 | 3.00 | 1.50 |
| | T _{P15} | >30'000,000 | | 4.50 | 3.00 | 1.50 |

Figura 25. Diferencial de serviciabilidad según rango de tráfico

Fuente: recuperado de *Manual de carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y pavimentos*, p.265, Lima Perú

-Error de combinación estándar (S_o); el rango típico para este tipo de pavimentos esta comprendido entre $0.30 < S_o < 0.40$, en este caso emplearemos el valor de 0.35, por recomendación del Manual de carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y pavimentos

-Índice de confianza (R%) y desviación estándar normal (Zr)

| TIPO DE CAMINOS | TRAFICO | EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS | | NIVEL DE CONFIABILIDAD (R) | DESVIACIÓN ESTÁNDAR NORMAL (Zr) |
|-------------------------------------|------------------|------------------------------|-------------|----------------------------|---------------------------------|
| Caminos de Bajo Volumen de Tránsito | T _{P0} | 100,000 | 150,000 | 65% | -0.385 |
| | T _{P1} | 150,001 | 300,000 | 70% | -0.524 |
| | T _{P2} | 300,001 | 500,000 | 75% | -0.674 |
| | T _{P3} | 500,001 | 750,000 | 80% | -0.842 |
| | T _{P4} | 750,001 | 1,000,000 | 80% | -0.842 |
| Resto de Caminos | T _{P5} | 1,000,001 | 1,500,000 | 85% | -1.036 |
| | T _{P6} | 1,500,001 | 3,000,000 | 85% | -1.036 |
| | T _{P7} | 3,000,001 | 5,000,000 | 85% | -1.036 |
| | T _{P8} | 5,000,001 | 7,500,000 | 90% | -1.282 |
| | T _{P9} | 7,500,001 | 10'000,000 | 90% | -1.282 |
| | T _{P10} | 10'000,001 | 12'500,000 | 90% | -1.282 |
| | T _{P11} | 12'500,001 | 15'000,000 | 90% | -1.282 |
| | T _{P12} | 15'000,001 | 20'000,000 | 90% | -1.282 |
| | T _{P13} | 20'000,001 | 25'000,000 | 90% | -1.282 |
| | T _{P14} | 25'000,001 | 30'000,000 | 90% | -1.282 |
| | T _{P15} | | >30'000,000 | 95% | -1.645 |

Figura 26. Valores recomendados de Nivel de confiabilidad (R) y Desviación estándar Normal (Zr)

Fuente: recuperado de *Manual de carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y pavimentos*, p.266, Lima Perú

En segundo lugar, determinaremos los parámetros del concreto de cemento (PCC)

-Resistencia del concreto, en unidades psi (lb/pulg²)

-Módulo de elasticidad del concreto, dado por la siguiente fórmula:

$$E_c = 57000 \times f'c^{0.5}$$

El valor de la resistencia al concreto $f'c$ debe estar en unidades psi

-Resistencia a flexotracción del concreto (MR); dado mediante la siguiente fórmula

$$Mr = a f'c^{0.5} \text{ (valores en kg/cm}^2\text{)}$$

Donde los valores “a” varían entre 1.99 y 3.18

| RANGOS DE TRÁFICO PESADO EXPRESADO EN EE | RESISTENCIA MÍNIMA A LA FLEXOTRACCIÓN DEL CONCRETO (MR) | RESISTENCIA MÍNIMA EQUIVALENTE A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO (F'c) |
|--|---|---|
| ≤ 5'000,000 EE | 40 kg/cm ² | 280 kg/cm ² |
| > 5'000,000 EE ≤ 15'000,000 EE | 42 kg/cm ² | 300 kg/cm ² |
| > 15'000,000 EE | 45 kg/cm ² | 350 kg/cm ² |

Figura 27. Valores recomendados de resistencia del concreto según el rango de tráfico

Fuente: recuperado de *Manual de carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y pavimentos*, p.269, Lima Perú

-El suelo y el efecto de las capas de apoyo (Kc); el modulo de reacción de la subrasante es el parámetro que caracteriza el tipo de subrasante. Para determinar el coeficiente de reacción k, haremos uso de ábacos. (las unidades k son Mpa/m)

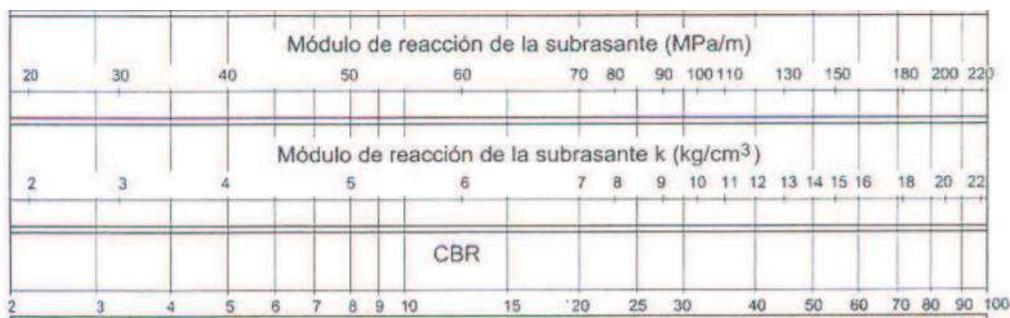


Figura 28. Correlación CBR y módulo de reacción de la subrasante

Fuente: recuperado de *Manual de carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y pavimentos*, p.267, Lima Perú

- CBR mínimo de sub base

| TRÁFICO | ENSAYO NORMA | REQUERIMIENTO |
|---------------------------------------|--------------|---------------------|
| Para trafico $\leq 15 \times 10^6$ EE | MTC E 132 | CBR mínimo 40 % (1) |
| Para trafico $> 15 \times 10^6$ EE | MTC E 132 | CBR mínimo 60 % (1) |

Figura 29. CBR mínimos recomendados para la Subbase granular de pavimentos rígidos según intensidad de tráfico expresado en EE

Fuente: recuperado de *Manual de carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y pavimentos*, p.268, Lima Perú

-Módulo de reacción de la Subbase Granular; el ministerio de transportes y comunicaciones recomienda utilizar como espesor de base granular a 15cm. Para determinar su módulo de reacción, hacemos uso de la siguiente fórmula:

$$K_c = [1 + (h/38)^2 \times (K_1/K_0)^{2/3}]^{0.5} \times K_0$$

Donde :

K_1 (kg/cm³) : coeficiente de reacción de la sub base granular

K_c (kg/cm³) : coeficiente de reacción combinado

K_0 (kg/cm³) : coeficiente de reacción de la subrasante

h : espesor de la subbase granular

En tercer lugar, debemos determinar los parámetros de diseño.

-Coeficiente de drenaje (cd); dados por la siguiente tabla según el método AASHTO-93

Tabla 12.

Valores de coeficiente de drenaje para pavimento rígido

| Calidad del Drenaje | % del tiempo que la estructura del pavimento está expuesta a niveles de humedad próximas a la saturación | | | |
|---------------------|--|-----------|-----------|-----------|
| | <1% | 1-5% | 5-25% | >25% |
| | Excelente | 1.25-1.20 | 1.20-1.15 | 1.15-1.10 |
| Bueno | 1.20-1.15 | 1.15-1.10 | 1.10-1.00 | 1.00 |
| Aceptable | 1.15-1.10 | 1.10-1.00 | 1.00-0.90 | 0.90 |
| Pobre | 1.10-1.00 | 1.00-0.90 | 0.90-0.80 | 0.80 |
| Muy pobre | 1.00-0.90 | 0.90-0.80 | 0.80-0.70 | 0.70 |

Fuente: recuperado de *Manual de carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y pavimentos, p.270, Lima Perú*

-Coeficiente de transmisión de carga (J); expresa la capacidad de la estructura como transmisora de cargas entre juntas y fisuras.

| TIPO DE BERMA | J | | | |
|---------------|----------------------|--------------------|---------------------|--------------------|
| | GRANULAR O ASFÁLTICA | | CONCRETO HIDRÁULICO | |
| VALORES J | SI (con pasadores) | NO (con pasadores) | SI (con pasadores) | NO (con pasadores) |
| | 3.2 | 3.8 – 4.4 | 2.8 | 3.8 |

Figura 30. Valores de coeficiente de transmisión de carga J

Fuente: recuperado de *Manual de carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y pavimentos, p.270, Lima Perú*

El valor de J es directamente proporcional al valor final del espesor de losa de concreto. Es decir, a menos valor de J, menor espesor de concreto.

Ahora bien, teniendo todos estos valores, reemplazamos en la siguiente fórmula con la cual obtendremos el valor D (altura de la losa de concreto)

$$\text{Log}_{10} W_{82} = Z_R S_O + 7.35 \text{Log}_{10}(D + 25.4) - 10.39 + \frac{\text{Log}_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.5 - 1.5}\right)}{1 + \frac{1.25 \times 10^{19}}{(D + 25.4)^{8.46}}} + (4.22 - 0.32 P_f) \times \text{Log}_{10} \left(\frac{M_r C_{dr} (0.09 D^{0.75} - 1.132)}{1.51 \times J \left(0.09 D^{0.75} - \frac{7.38}{(E_c / k)^{0.25}} \right)} \right)$$

CAPÍTULO IV.

RESULTADOS Y

DISCUSIONES

4.1. Análisis y discusión de los resultados

4.1.1. Ensayos realizados al suelo natural

4.1.1.1. Contenido de humedad

Este ensayo se realizó según el MTC E108. Se presentaron los siguientes resultados:

Tabla 13.
Contenido de Humedad Promedio

| CALICATAS | CONTENIDO DE HUMEDAD |
|-----------|----------------------|
| C-1 | 0.32 |
| C-2 | 0.44 |
| C-3 | 2.39 |
| C-4 | 3.43 |

Fuente: *Elaboración propia*

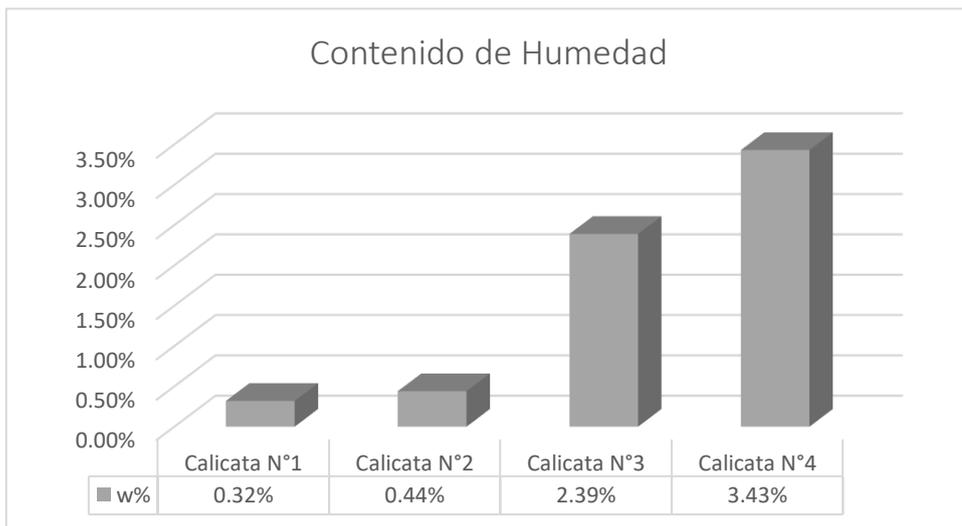


Figura 31. *Gráfico Comparativo del contenido de humedad*

Fuente: *Elaboración propia*

ANÁLISIS: Mediante el ensayo para la determinación del contenido de humedad de cada muestra se obtuvieron los resultados: Calicata 1 -

0.32%, Calicata 2 - 0.44%, Calicata 3 - 2.39%, Calicata 4 - 3.43%; la Calicata 4 obtuvo el porcentaje mal alto respecto a las demás.

4.1.1.2. Análisis granulométrico

Este ensayo se realizó según el MTC E107. Se presentaron los siguientes resultados:

- CALICATA N°1

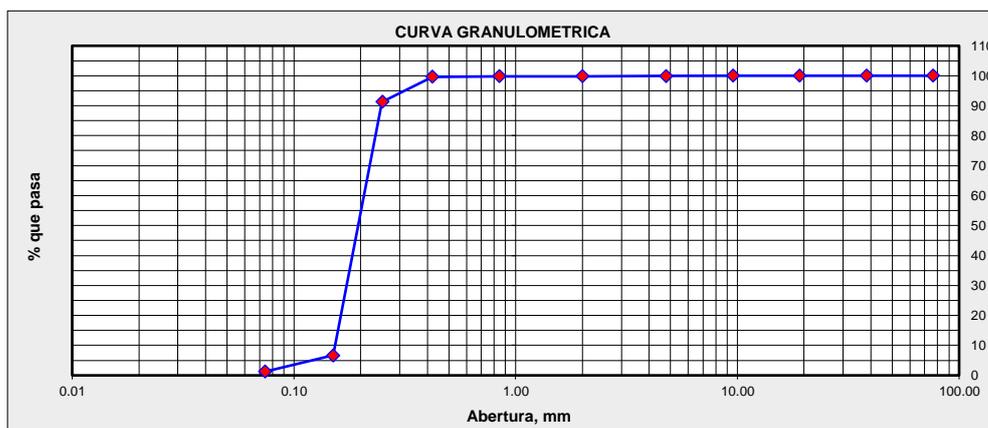


Figura 32. Granulometría Calicata N°1

Fuente: *Elaboración propia*

ANÁLISIS: En la figura 32 , se puede determinar mediante el análisis granulométrico que la Calicata N°1 presenta 0.08% de grava, 98.69% de arena y 1.23% de Finos.

- CALICATA N°2

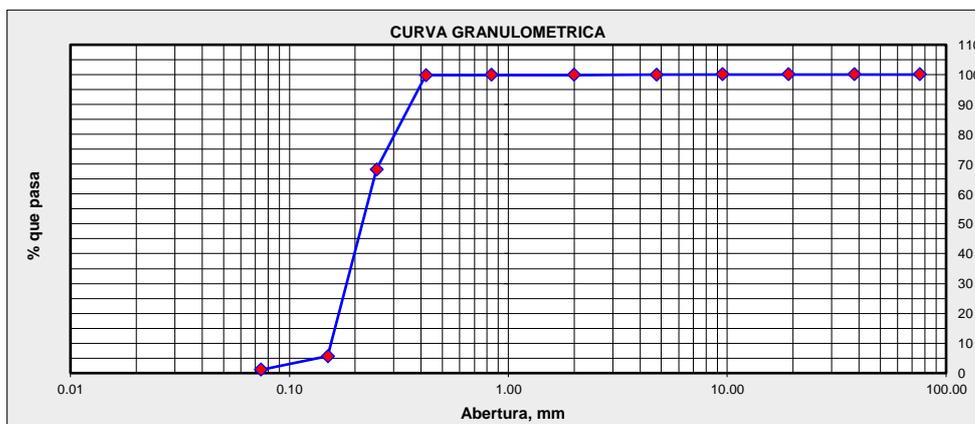


Figura 33. Granulometría Calicata N°2

Fuente: *Elaboración propia*

ANÁLISIS: En la figura 33 , se puede determinar mediante el análisis granulométrico que la Calicata N°2 presenta 0.04% de grava, 98.88% de arena y 1.08% de Finos.

- CALICATA N°3

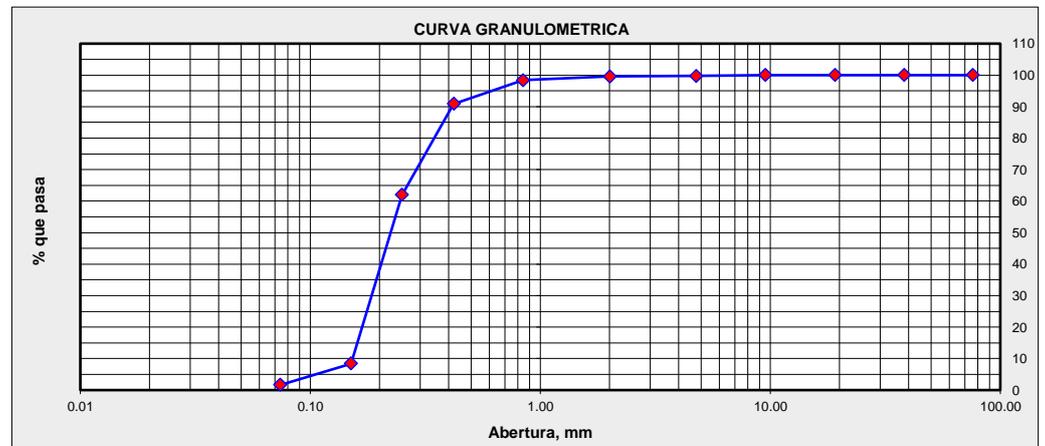


Figura 34. Granulometría Calicata N°3

Fuente: *Elaboración propia*

ANÁLISIS: En la figura 34 , se puede determinar mediante el análisis granulométrico que la Calicata N°3 presenta 0.24% de grava, 98.15% de arena y 1.61% de Finos.

- CALICATA N°4

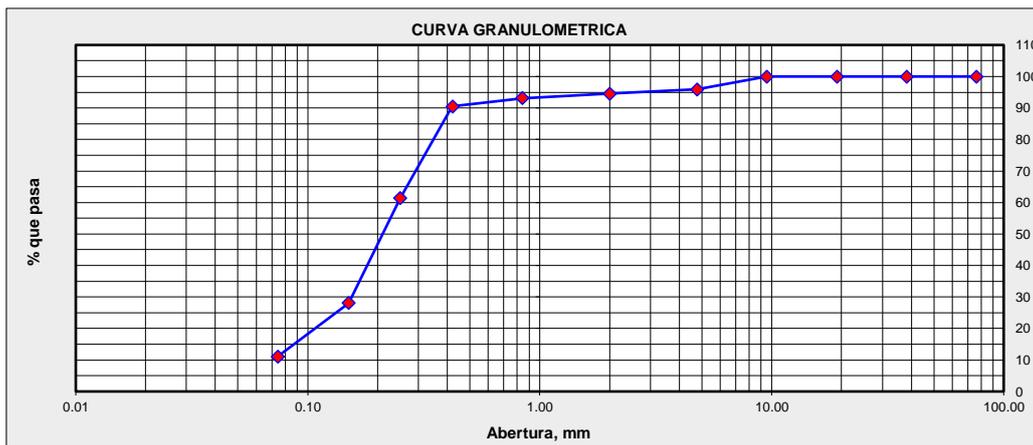


Figura 35. Granulometría Calicata N°4

Fuente: Elaboración propia

ANÁLISIS: En la figura 35 , se puede determinar mediante el análisis granulométrico que la Calicata N°4 presenta 4.06% de grava, 84.89% de arena y 11.05% de Finos.

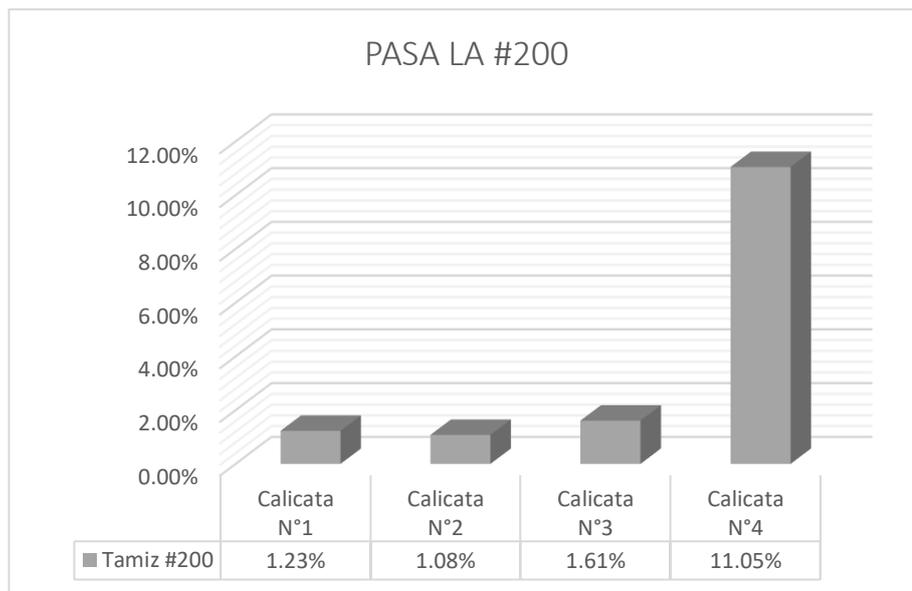


Figura 36. Gráfico comparativo del Análisis Granulométrico

Fuente: Elaboración propia

4.1.1.3. Gravedad específica

Este ensayo se realizó según el MTC E113. Se presentaron los siguientes resultados:

Tabla 14.
Gravedad Especifica Promedio

| CALICATAS | GRAVEDAD ESPECIFICA |
|-----------|---------------------|
| | PROMEDIO |
| C-1 | 2.654 |
| C-2 | 2.656 |
| C-3 | 2.661 |
| C-4 | 2.684 |

Fuente: *Elaboración propia*

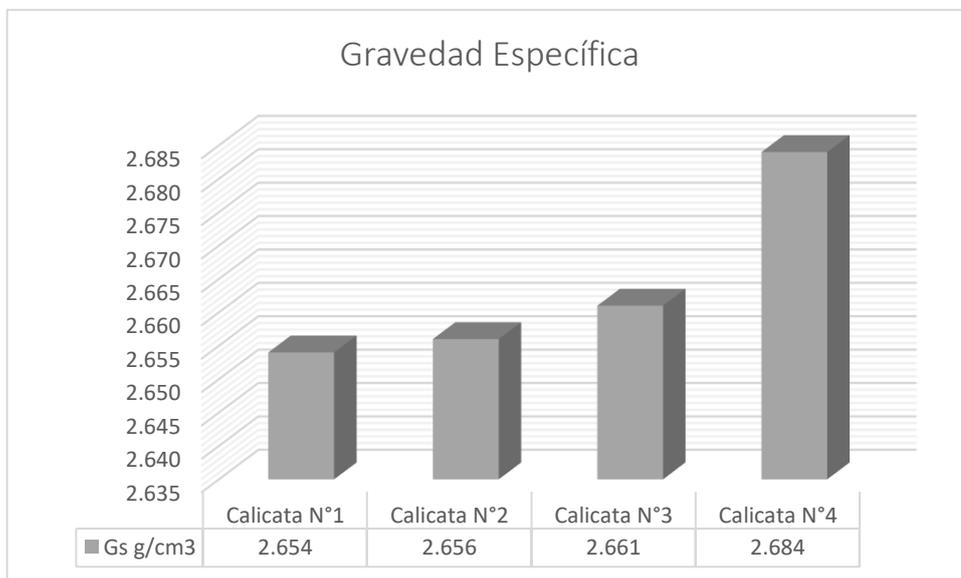


Figura 37. *Gráfico comparativo de la Gravedad Específica*

Fuente: *Elaboración propia*

ANÁLISIS: En la figura 37 se observa los resultados promediados del ensayo de gravedad específica aplicadas a cada una de las calicatas, las cuales cumplen dentro de los rangos establecidos para suelos arenosos y arcillosos.

4.1.1.4. Límites de consistencia

Los ensayos de límite líquido y límite plástico e índice de plasticidad se realizaron según el MTC E110 y MTC E111. Se presentaron los siguientes resultados:

Tabla 15.
Limites de Atterberg del suelo

| CALICATAS | LIMITE LIQUIDO % | LIMITE PLASTICO % | INDICES DE PLASTICIDAD |
|-----------|------------------|-------------------|------------------------|
| C-1 | N.P | N.P | N.P |
| C-2 | N.P | N.P | N.P |
| C-3 | N.P | N.P | N.P |
| C-4 | N.P | N.P | N.P |

Fuente: *Elaboración propia*

ANÁLISIS: En la Tabla 15 se observa los resultados de los Límites de Atterberg para cada calicata, como se observa ni una de las muestras presenta límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad.

4.1.1.5. Clasificación de suelos

Tomando en cuenta los Límites de Atterberg de cada calicata, clasificamos a estos según los parámetros del Sistema SUCS y Sistema AASHTO, siendo los resultados los siguientes:

Tabla 16.
Clasificación de Suelos

| CALICATAS | CLASIFICACIÓN SUCS | | CLASIFICACIÓN AASHTO | |
|-----------|--------------------|--------------------|----------------------|------------------------------|
| | GRUPO | DESCRIPCIÓN | GRUPO | DESCRIPCIÓN |
| C-01 | SP | Arena Mal Graduada | A-3(0) | Arena Fina-Excelente a Bueno |
| C-02 | SP | Arena Mal Graduada | A-3(0) | Arena Fina-Excelente a Bueno |

| | | | | |
|------|-------|--------------------------------|----------|--|
| C-03 | SP | Arena Mal Graduada | A-3(0) | Arena Fina- Excelente a Bueno |
| C-04 | SP-SM | Arena Mal Graduada con Limo | A-2-4(0) | Grava y Arena Arcillosa- Excelente a Bueno |

Fuente: *Elaboración propia*

ANÁLISIS: En la Tabla 16 se observa los diferentes tipos de clasificación de suelos que presenta cada una de las calicatas tomando en cuenta los 2 tipos de Sistemas.

4.1.1.6. Proctor modificado

Este ensayo se realizó según el MTC E115. Se presentaron los siguientes resultados:

- CALICATA N°1

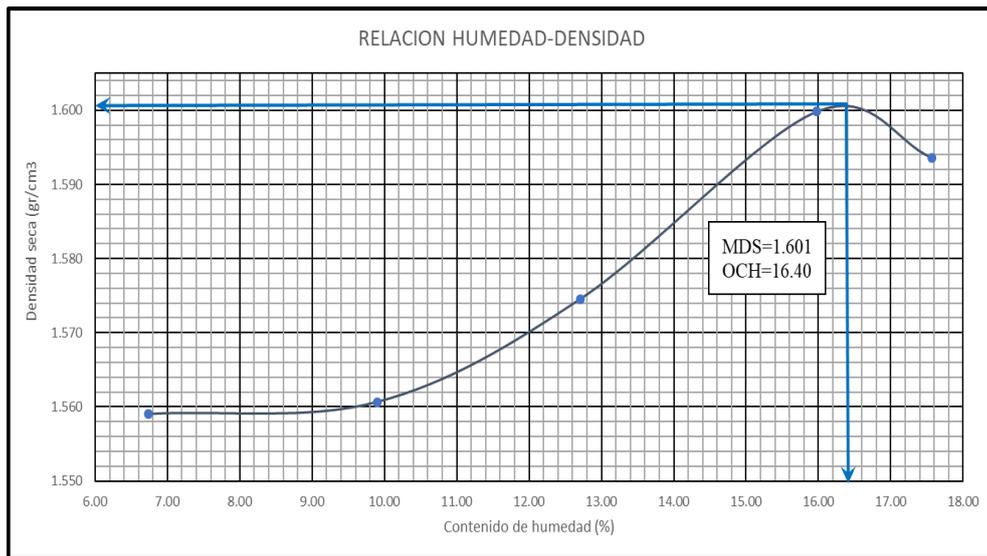


Figura 38. Proctor Modificado de la C-1

Fuente: *Elaboración propia*

- CALICATA N°2

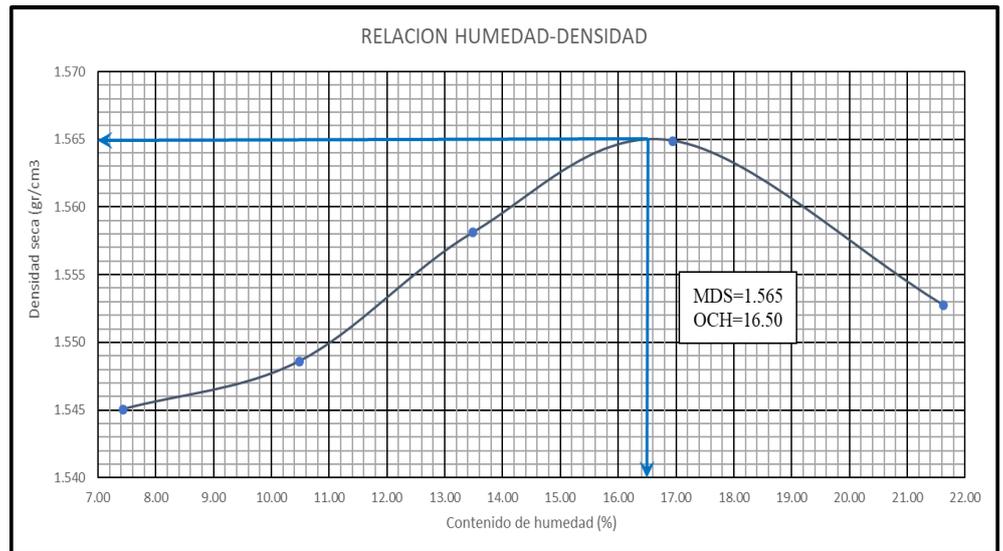


Figura 39. Proctor Modificado de la C-2

Fuente: *Elaboración propia*

- CALICATA N°3

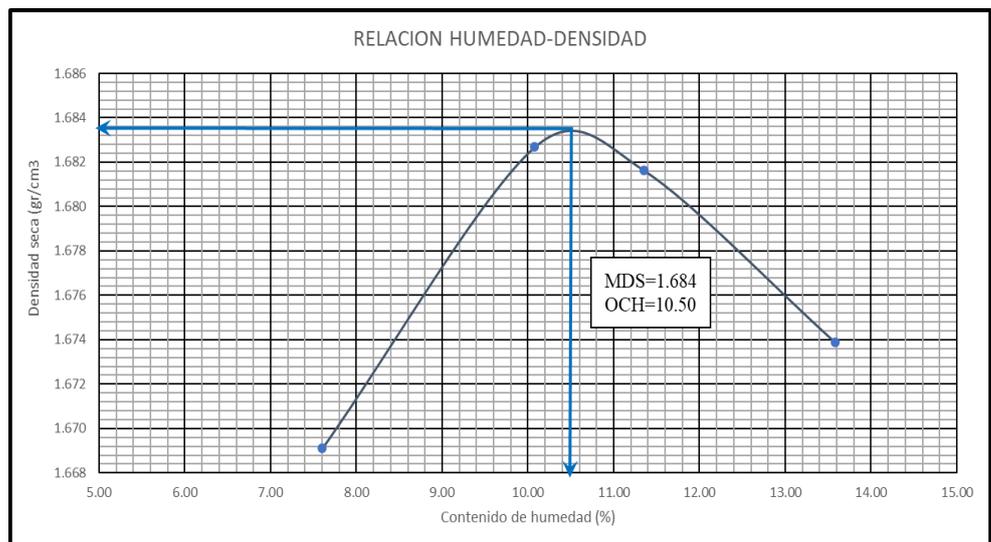


Figura 40. Proctor Modificado de la C-3

Fuente: *Elaboración propia*

- CALICATA N°4

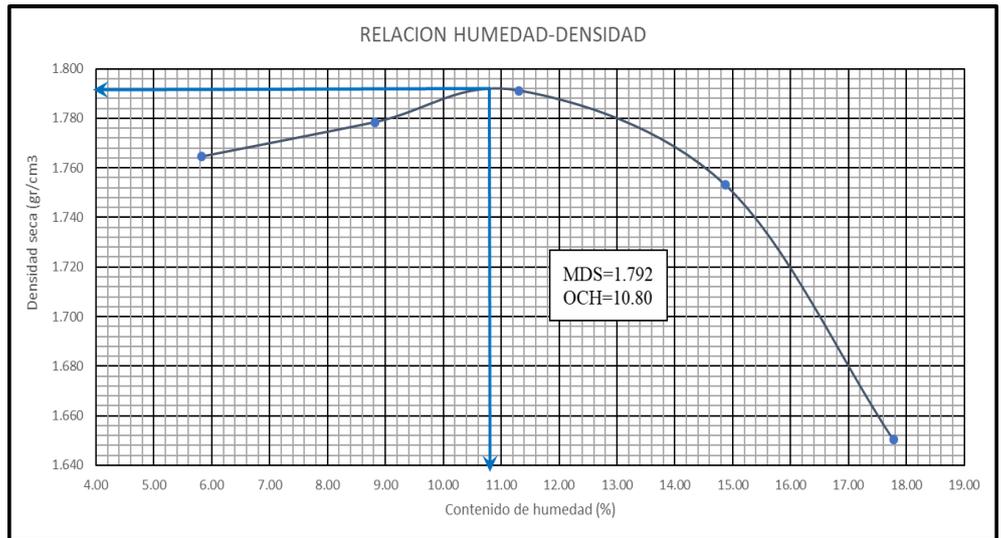


Figura 41. Proctor Modificado de la C-4

Fuente: *Elaboración propia*

Tabla 17.
Resultados del Proctor Modificado

| CALICATAS | PROCTOR MODIFICADO | |
|-----------|--------------------|------------|
| | OCH(%) | MDS(g/cm3) |
| C-01 | 16.4 | 1.601 |
| C-02 | 16.5 | 1.565 |
| C-03 | 10.5 | 1.684 |
| C-04 | 10.8 | 1.792 |

Fuente: *Elaboración propia*

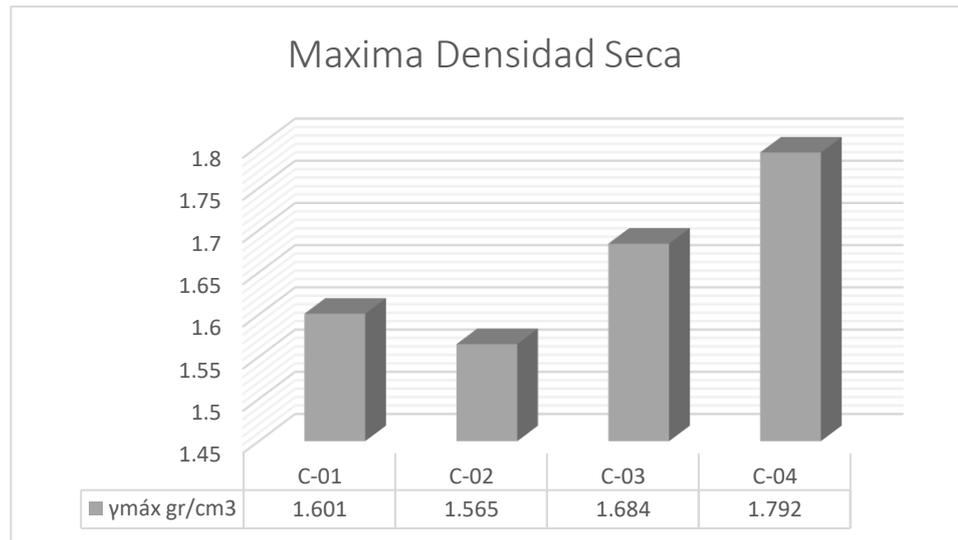


Figura 42. Gráfico comparativo de la máxima densidad seca

Fuente: *Elaboración propia*

ANÁLISIS: Mediante el ensayo de Proctor Modificado se logró determinar la densidad máxima seca para cada una de las calicatas. En la figura 42 se observa los valores de densidad seca máxima, la cual la Calicata N°4 es la de mayor valor con 1.792 g/cm³.

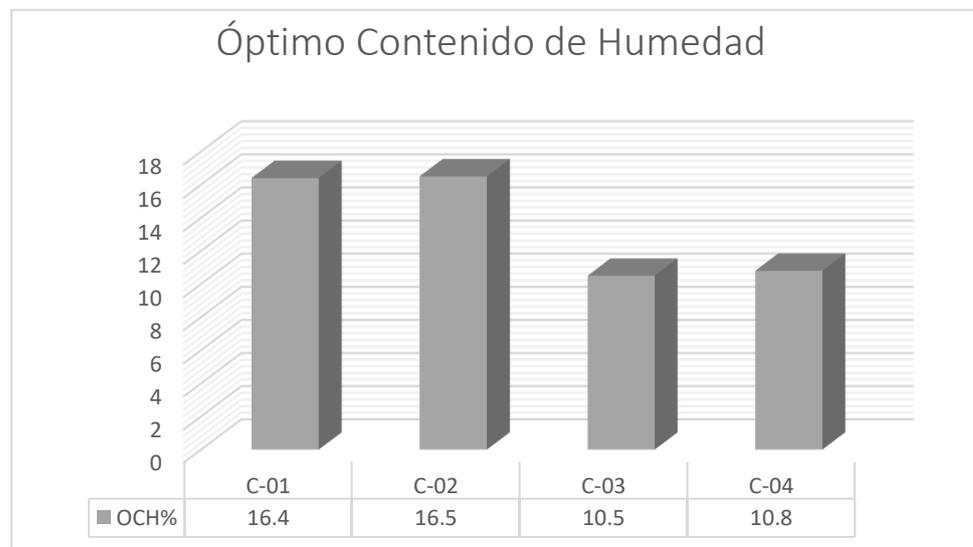


Figura 43. Gráfico comparativo del Contenido Óptimo de Humedad

Fuente: *Elaboración propia*

ANÁLISIS: Mediante el ensayo de Proctor Modificado se logró determinar la Óptimo Contenido de Humedad para cada una de las calicatas. En la figura 43 se observa los valores del Óptimo Contenido de Humedad, la cual la Calicata N°2 es la de mayor valor con 16.5% y la de menor valor es la Calicata N°3 con 10.5%.

4.1.1.7. Ensayo CBR

Realizados el ensayo de Proctor modificado y obteniendo los resultados del máximo contenido de humedad y máxima densidad seca se prosiguió a realizar los ensayos de CBR, lo cual se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 18.
Resultados del ensayo de CBR

| CALICATAS | CBR 0.1" (KG/CM2) | |
|-----------|-------------------|------------|
| | 95% DE LA | 100% DE LA |
| | MDS | MDS |
| C-01 | 8.41 | 16.81 |
| C-02 | 5.98 | 13.12 |
| C-03 | 9.12 | 17.46 |
| C-04 | 14.61 | 26.81 |

Fuente: *Elaboración propia*

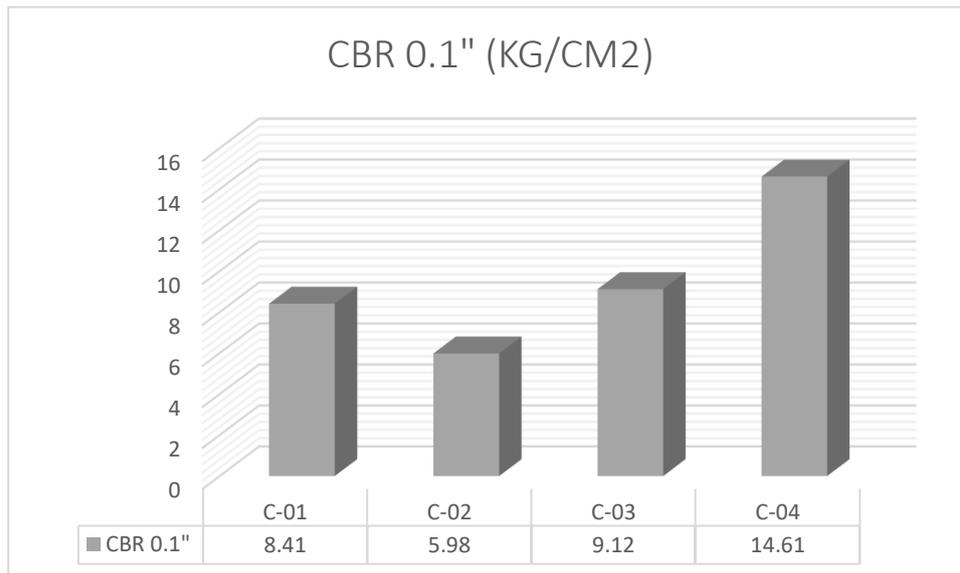


Figura 44. Gráfico comparativo de C.B.R. 0.1”

ANÁLISIS: En la tabla 18 y figura 44 observamos los resultados del ensayo de CBR , tanto al 95% como al 100% , como observamos el valor de CBR de la C-02 tiene una Subrasante pobre y las calicatas C-1 y C-3 son una Subrasante regular; por lo que se procederá a realizar el mejoramiento en las C-1, C-2 y C-3.

4.1.2. Ensayos realizados a la escoria siderúrgica

4.1.2.1. Ensayos de caracterización química

La escoria siderúrgica que se empleó en esta presenta tesis fue adquirida de la empresa siderúrgica peruana SIDER PERU de la ciudad de Chimbote. Esta se genera de la fusión de chatarra y otros agregados dentro del horno eléctrico tales como cal cálcica, carbón y ferroaleaciones. En la siguiente tabla se muestran los principales componentes químicos de la escoria.

Tabla 19.

Análisis químico de la escoria de horno eléctrico de SIDERPERU

| Parámetro | Unidades | Límite de cuantificación | Muestra 1 |
|------------------|-----------------|---------------------------------|------------------|
| B | % | - | 0.02 |
| Al | % | - | 1.55 |
| P | % | - | 0.13 |
| Ti | % | - | 0.24 |
| V | % | - | 0.09 |
| Cr | % | - | 0.15 |
| Mn | % | - | 2.25 |
| Cu | % | - | 0.02 |
| Zn | % | - | 0.03 |
| Sr | % | - | 0.03 |
| Mo | % | - | 14.84 |
| Ba | % | - | 0.07 |
| Na | % | - | 0.19 |
| Mg | % | - | 4.65 |
| K | % | - | 0.12 |
| Ca | % | - | 19.08 |
| Fe | % | - | 18.05 |
| Li | mg/kg | 0.12 | 16.67 |
| Be | mg/kg | 0.06 | 0.83 |
| Co | mg/kg | 0.02 | 6.18 |
| Ni | mg/kg | 0.04 | 44.05 |
| As | mg/kg | 0.04 | 8.86 |
| Se | mg/kg | 0.02 | <0.02 |
| Ag | mg/kg | 0.02 | 1.54 |
| Cd | mg/kg | 0.02 | 0.54 |
| Sn | mg/kg | 0.04 | 62.53 |
| Sb | mg/kg | 0.02 | 0.57 |
| Ce | mg/kg | 0.03 | 26.05 |
| W | mg/kg | 0.5 | 95.3 |

| | | | |
|----|-------|------|--------|
| Ti | mg/kg | 0.03 | <0.03 |
| Pb | mg/kg | 0.02 | 148.25 |
| Bi | mg/kg | 0.03 | <0.03 |
| Th | mg/kg | 0.1 | 3.9 |
| U | mg/kg | 0.03 | 1.94 |
| Hg | mg/kg | 0.01 | 2.66 |

Fuente: Resultados de la Empresa Inspectorate-Bureau Beritas, 2009

4.1.2.2. Análisis granulométrico

Este ensayo se realizó según el MTC E107. Se presentaron los siguientes resultados:

- **ESCORIA**

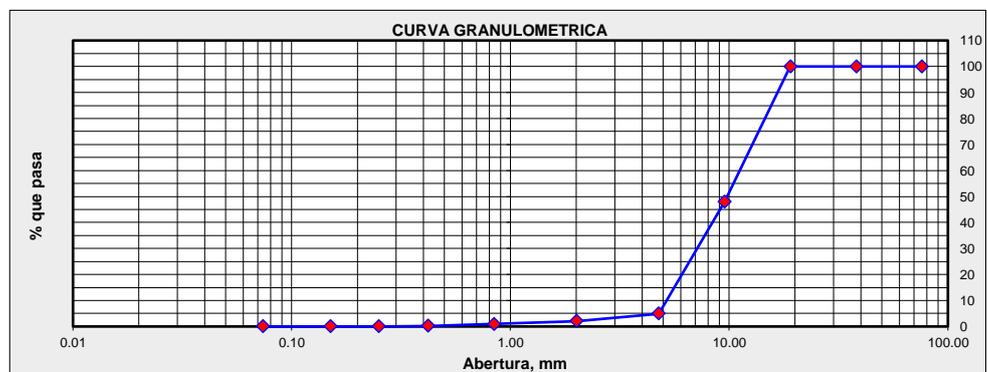


Figura 45. Granulometría Escoria Siderúrgica

Fuente: *Elaboración propia*

4.1.3. Ensayos realizados ala combinación del suelo natural con la escoria

4.1.3.1. Análisis granulométrico

Este ensayo se realizó según el MTC E107. Se presentaron los siguientes resultados

- CALICATA N°1 + 15% DE ESCORIA

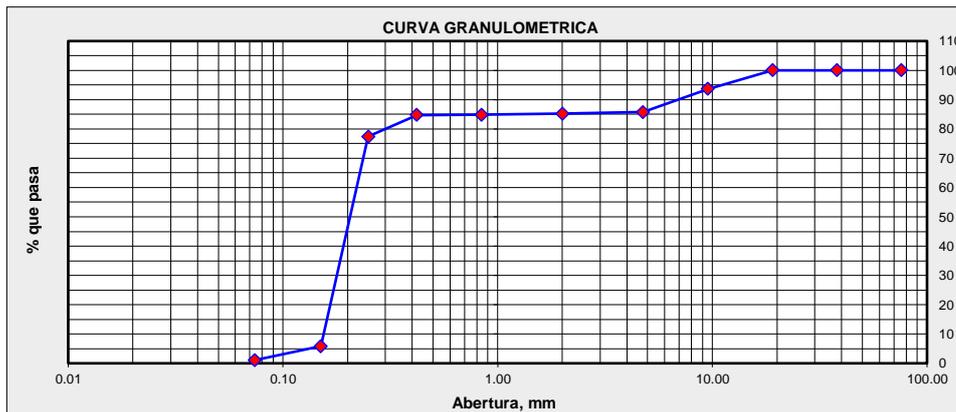


Figura 46. Granulometría Calicata N°1 + 15% de Escoria

Fuente: *Elaboración propia*

ANÁLISIS: En la figura 46, se puede determinar mediante el análisis granulométrico que la C-1 + 15% de Escoria presenta 14.22% de grava, 84.71% de arena y 1.07% de Finos.

- CALICATA N°1 + 25% DE ESCORIA

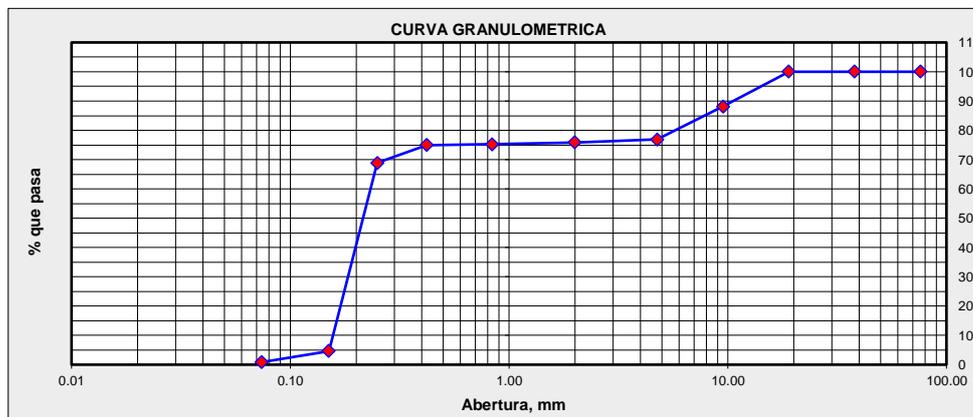


Figura 47. Granulometría Calicata N°1 + 25% de Escoria

Fuente: *Elaboración propia*

ANÁLISIS: En la figura 47, se puede determinar mediante el análisis granulométrico que la C-1 + 25% de Escoria presenta 23.14% de grava, 76.00% de arena y 0.86% de Finos.

- CALICATA N°1 + 40% DE ESCORIA

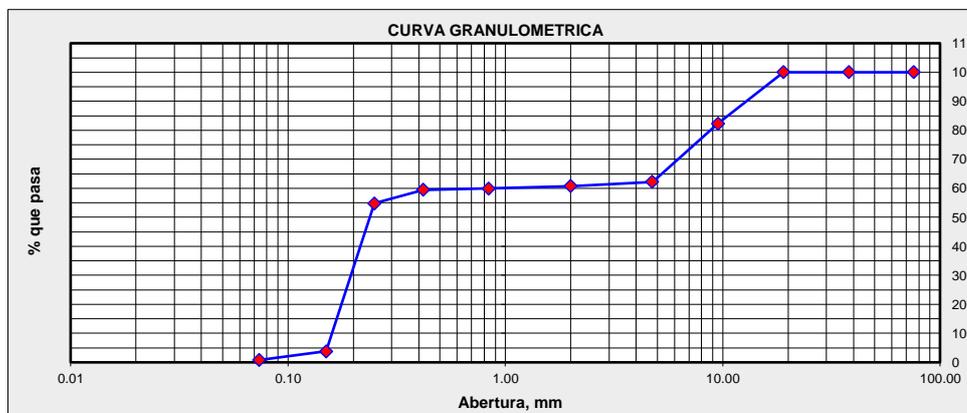


Figura 48. Granulometría Calicata N°1 + 40% de Escoria

Fuente: *Elaboración propia*

ANÁLISIS: En la figura 48, se puede determinar mediante el análisis granulométrico que la C-1 + 45% de Escoria presenta 37.81% de grava, 61.38% de arena y 0.81% de Finos.

- CALICATA N°2 + 15% DE ESCORIA

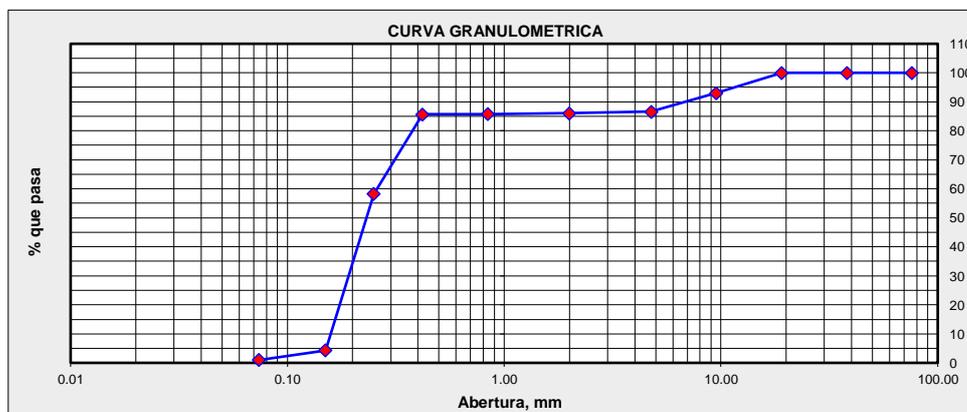


Figura 49. Granulometría Calicata N°2 + 15% de Escoria

Fuente: *Elaboración propia*

ANÁLISIS: En la figura 49, se puede determinar mediante el análisis granulométrico que la C-2 + 15% de Escoria presenta 13.38% de grava, 85.64% de arena y 0.98% de Finos.

- CALICATA N°2 + 25% DE ESCORIA

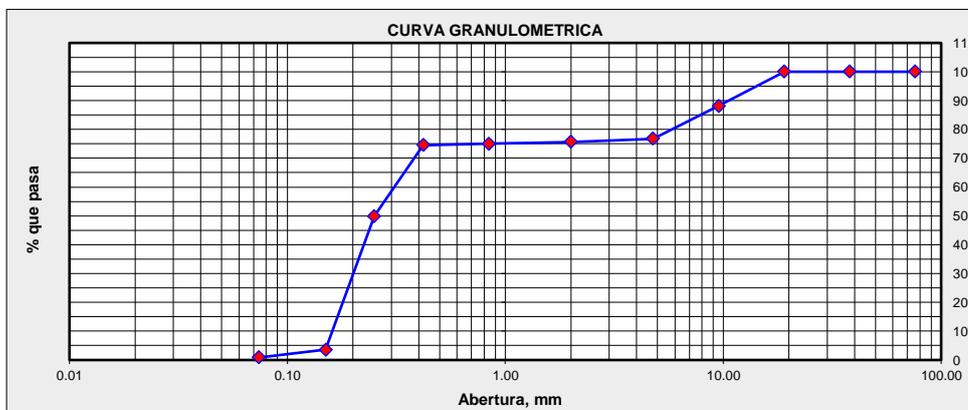


Figura 50. Granulometría Calicata N°2 + 25% de Escoria

Fuente: *Elaboración propia*

ANÁLISIS: En la figura 50, se puede determinar mediante el análisis granulométrico que la C-2 + 25% de Escoria presenta 23.22% de grava, 75.92% de arena y 0.86% de Finos.

- CALICATA N°2 + 40% DE ESCORIA

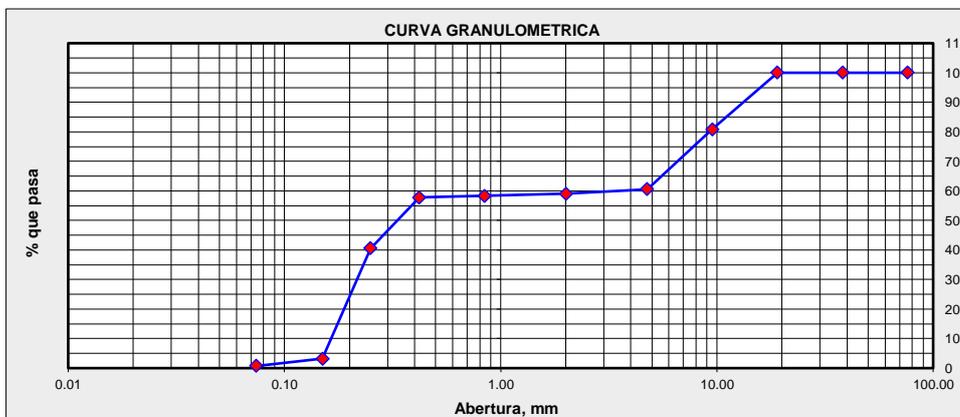


Figura 51. Granulometría Calicata N°2 + 40% de Escoria

Fuente: *Elaboración propia*

ANÁLISIS: En la figura 51, se puede determinar mediante el análisis granulométrico que la C-2 + 40% de Escoria presenta 39.41% de grava, 59.88% de arena y 0.71% de Finos.

- CALICATA N°3 + 15% DE ESCORIA

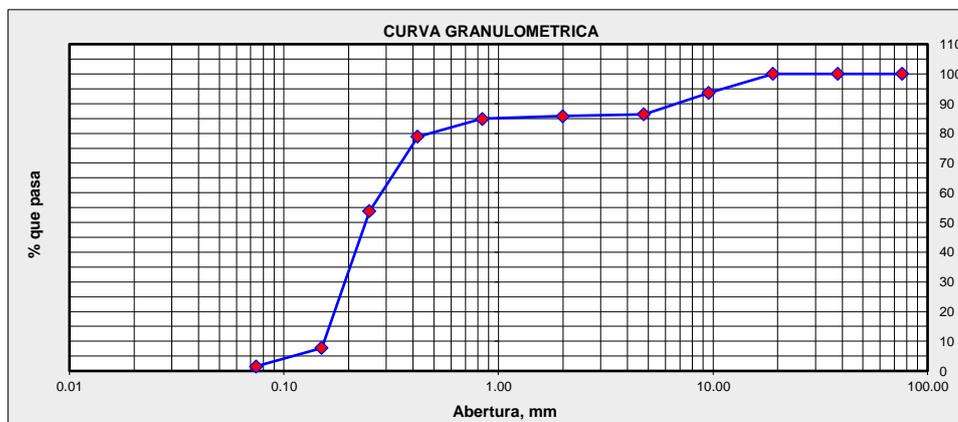


Figura 52. Granulometría Calicata N°3 + 15% de Escoria

Fuente: *Elaboración propia*

ANÁLISIS: En la figura 52, se puede determinar mediante el análisis granulométrico que la C-3 + 15% de Escoria presenta 13.60% de grava, 84.85% de arena y 1.55% de Finos.

- CALICATA N°3 + 25% DE ESCORIA

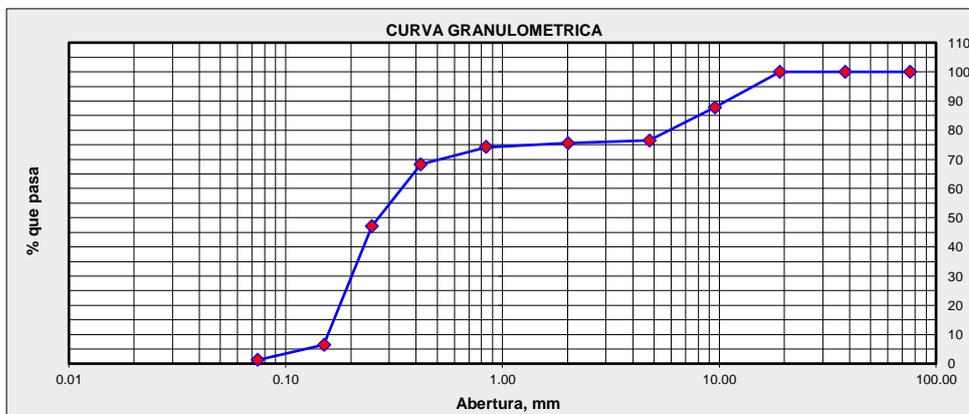


Figura 53. Granulometría Calicata N°3 + 25% de Escoria

Fuente: *Elaboración propia*

ANÁLISIS: En la figura 53, se puede determinar mediante el análisis granulométrico que la C-3 + 25% de Escoria presenta 23.54% de grava, 75.27% de arena y 1.19% de Finos.

- CALICATA N°3 + 40% DE ESCORIA

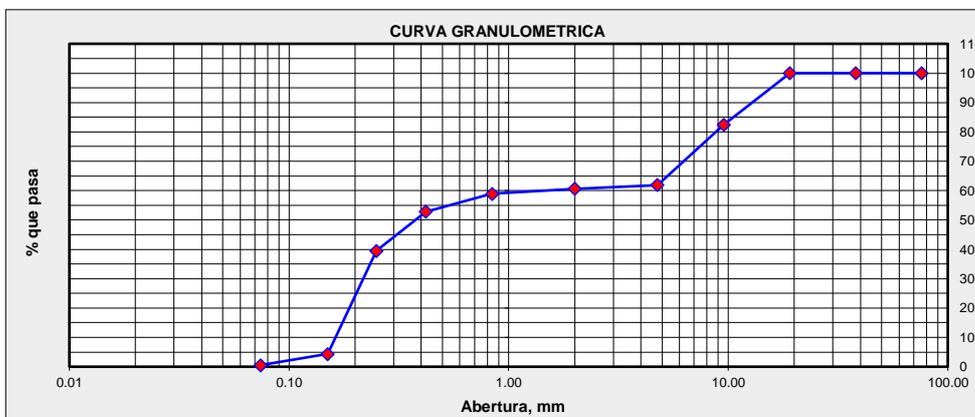


Figura 54. Granulometría Calicata N°3 + 40% de Escoria

Fuente: *Elaboración propia*

ANÁLISIS: En la figura 54, se puede determinar mediante el análisis granulométrico que la C-3 + 40% de Escoria presenta 38.08% de grava, 61.41% de arena y 0.51% de Finos.

- CALICATA N°4 + 15% DE ESCORIA

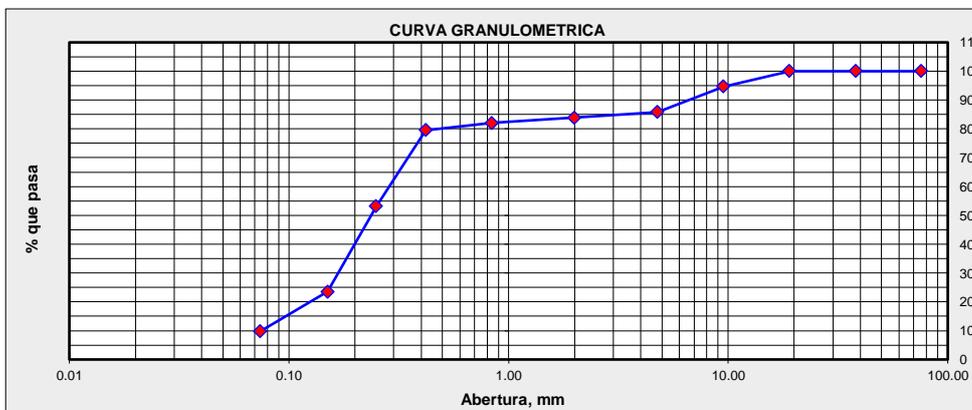


Figura 55. Granulometría Calicata N°4 + 15% de Escoria

Fuente: *Elaboración propia*

ANÁLISIS: En la figura 55, se puede determinar mediante el análisis granulométrico que la C-4 + 15% de Escoria presenta 14.14% de grava, 76.09% de arena y 9.77% de Finos.

- CALICATA N°4 + 25% DE ESCORIA

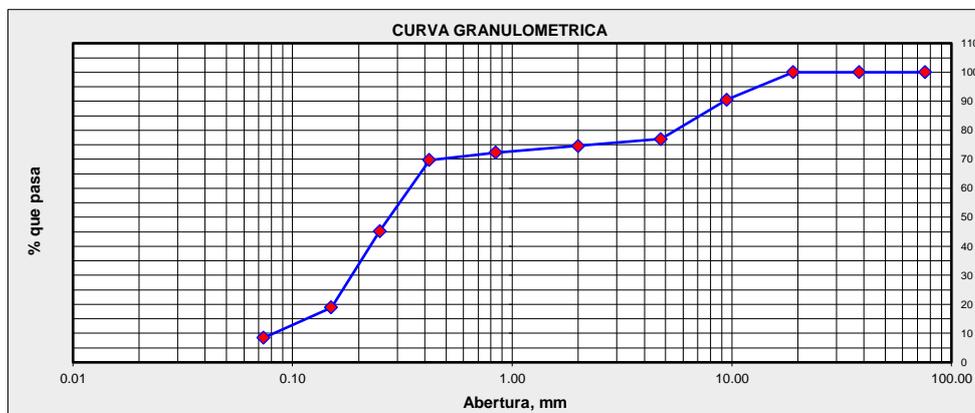


Figura 56. Granulometría Calicata N°4 + 25% de Escoria

Fuente: *Elaboración propia*

ANÁLISIS: En la figura 56, se puede determinar mediante el análisis granulométrico que la C-4 + 25% de Escoria presenta 23.00% de grava, 68.52% de arena y 8.48% de Finos.

- CALICATA N°4 + 40% DE ESCORIA

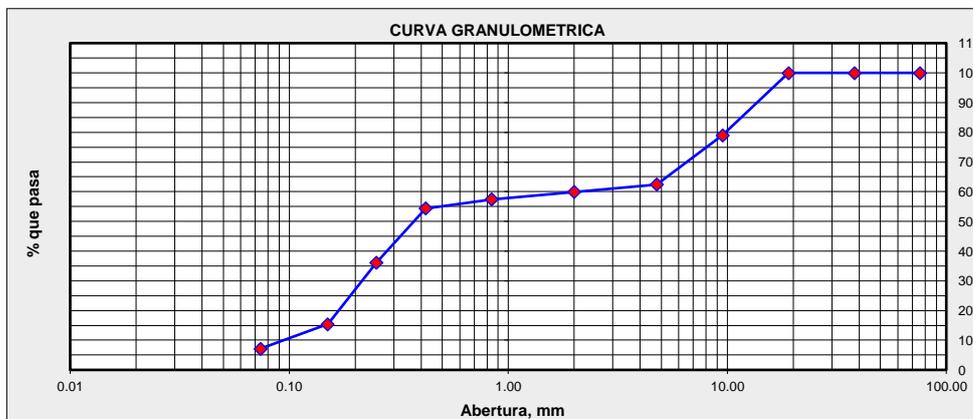


Figura 57. Granulometría Calicata N°4 + 40% de Escoria

Fuente: *Elaboración propia*

ANÁLISIS: En la figura 57, se puede determinar mediante el análisis granulométrico que la C-4 + 40% de Escoria presenta 39.41% de grava, 59.88% de arena y 0.71% de Finos.

4.1.3.2. Gravedad específica

Este ensayo se realizó según el MTC E113. Se presentaron los siguientes resultados:

Tabla 20.
Gravedad Especifica Promedio de las combinaciones

| CALICATA | GRAVEDAD ESPECIFICA PROMEDIO |
|--------------------|------------------------------------|
| C-1+15% de Escoria | 2.685 |
| C-1+25% de Escoria | 2.706 |
| C-1+40% de Escoria | 2.794 |
| C-2+15% de Escoria | 2.683 |
| C-2+25% de Escoria | 2.702 |
| C-2+40% de Escoria | 2.791 |
| C-3+15% de Escoria | 2.688 |
| C-3+25% de Escoria | 2.708 |
| C-3+40% de Escoria | 2.797 |
| C-4+15% de Escoria | 2.695 |
| C-4+25% de Escoria | 2.716 |
| C-4+40% de Escoria | 2.807 |

Fuente: *Elaboración propia*

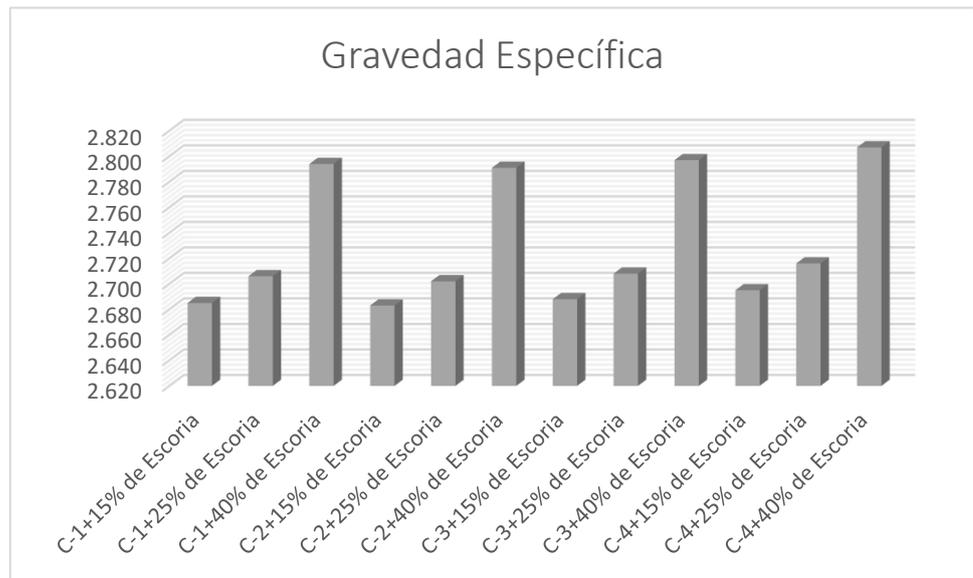


Figura 58. Gráfico de la Gravedad Específica de las combinaciones

Fuente: *Elaboración propia*

ANÁLISIS: En la figura 58 se observa los resultados promediados del ensayo de gravedad específica aplicadas a cada una de las calicatas más distintas proporciones de escoria; las combinaciones con 40% de escoria tiene los valores más altos.

4.1.3.3. Límites de consistencia

Los ensayos de límite líquido y límite plástico e índice de plasticidad se realizaron según el MTC E110 y MTC E111. Se presentaron los siguientes resultados:

Tabla 21.
Límites de Atterberg del suelo más escoria siderúrgica

| CALICATAS | LIMITE LIQUIDO % | LIMITE PLASTICO % | INDICES DE PLASTICIDAD |
|--------------------|---------------------|----------------------|---------------------------|
| C-1+15% de Escoria | N.P | N.P | N.P |
| C-1+25% de Escoria | N.P | N.P | N.P |

| | | | |
|--------------------|-----|-----|-----|
| C-1+40% de Escoria | N.P | N.P | N.P |
| C-2+15% de Escoria | N.P | N.P | N.P |
| C-2+25% de Escoria | N.P | N.P | N.P |
| C-2+40% de Escoria | N.P | N.P | N.P |
| C-3+15% de Escoria | N.P | N.P | N.P |
| C-3+25% de Escoria | N.P | N.P | N.P |
| C-3+40% de Escoria | N.P | N.P | N.P |
| C-4+15% de Escoria | N.P | N.P | N.P |
| C-4+25% de Escoria | N.P | N.P | N.P |
| C-4+40% de Escoria | N.P | N.P | N.P |

Fuente: Elaboración propia

ANÁLISIS: En la Tabla 21 se observa los resultados de los Límites de Atterberg para cada calicata más escoria siderúrgica, como se observa ni una de las combinaciones presenta límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad.

4.1.3.4. Proctor modificado

Este ensayo se realizó según el MTC E115. Se presentaron los siguientes resultados:

- CALICATA N°1 + 15% DE ESCORIA

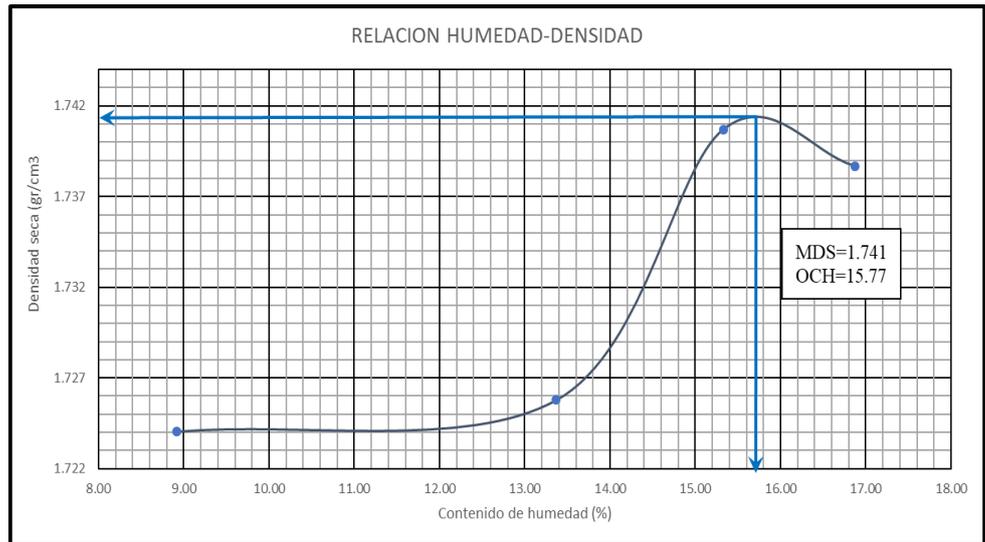


Figura 59. Proctor Modificado de la C-1 +15% de Escoria

Fuente: *Elaboración propia*

- CALICATA N°1 + 25% DE ESCORIA

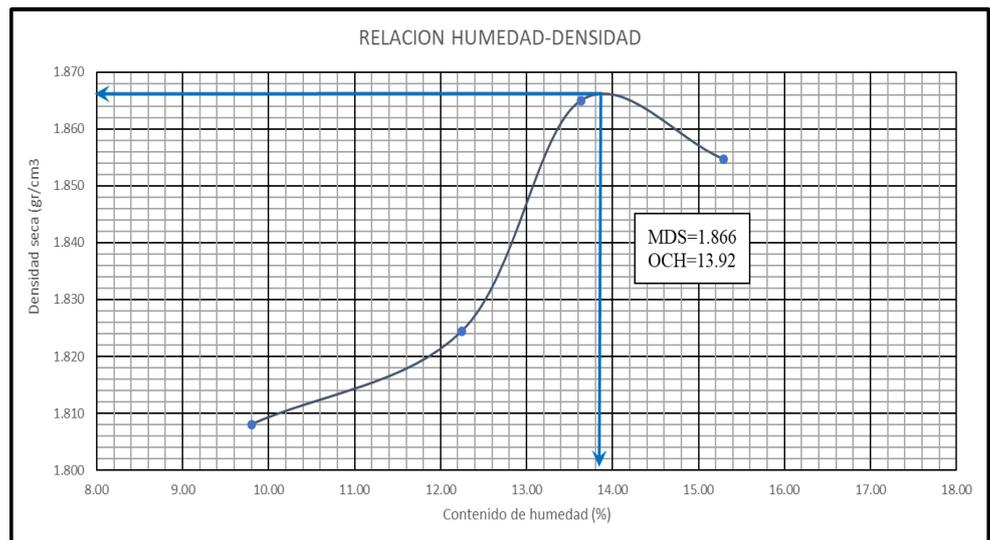


Figura 60. Proctor Modificado de la C-1 +25% de Escoria

Fuente: *Elaboración propia*

- CALICATA N°1 + 40% DE ESCORIA

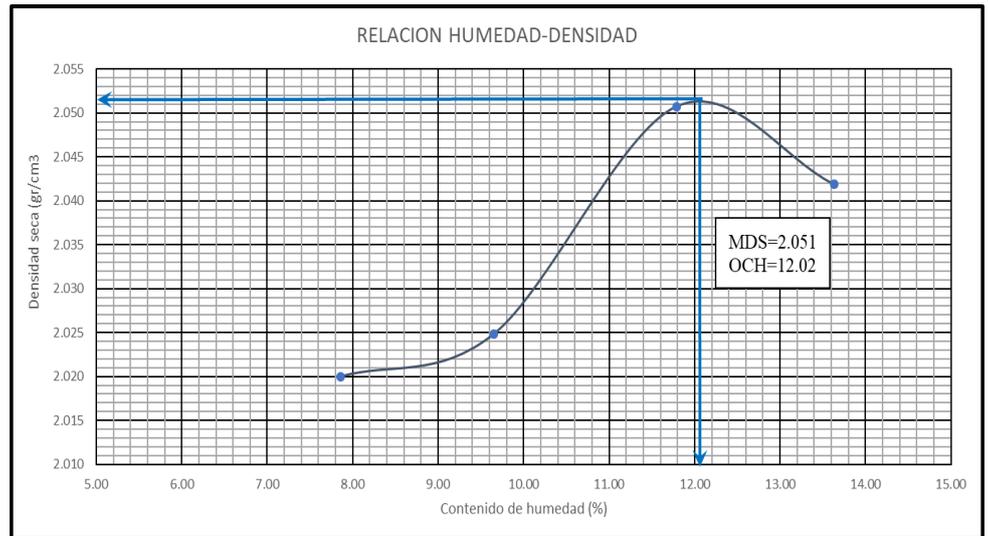


Figura 61. Proctor Modificado de la C-1 +40% de Escoria

Fuente: *Elaboración propia*

- CALICATA N°2 + 15% DE ESCORIA

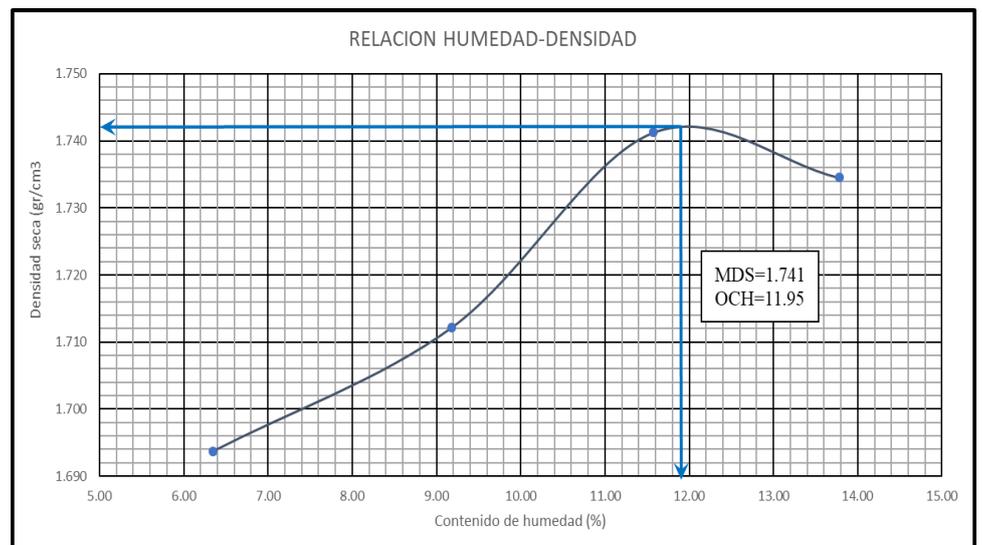


Figura 62. Proctor Modificado de la C-2 +15% de Escoria

Fuente: *Elaboración propia*

- CALICATA N°2 + 25% DE ESCORIA

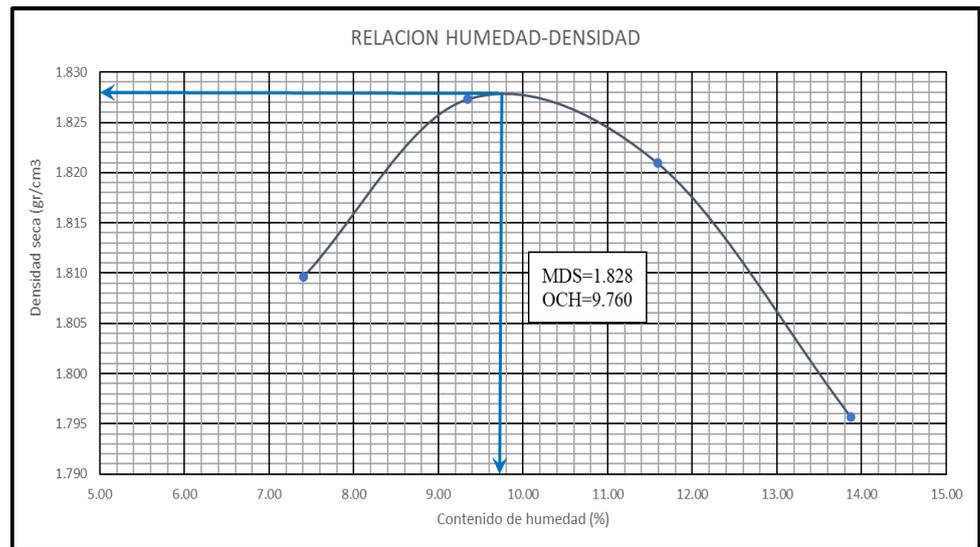


Figura 63. Proctor Modificado de la C-2 +25% de Escoria

Fuente: *Elaboración propia*

- CALICATA N°2 + 40% DE ESCORIA

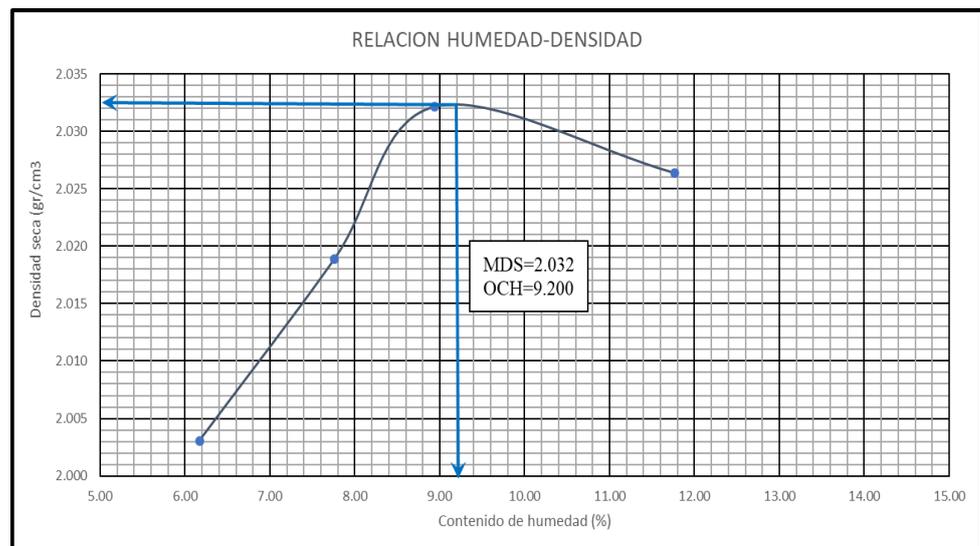


Figura 64. Proctor Modificado de la C-2 +40% de Escoria

Fuente: *Elaboración propia*

- CALICATA N°3 + 15% DE ESCORIA

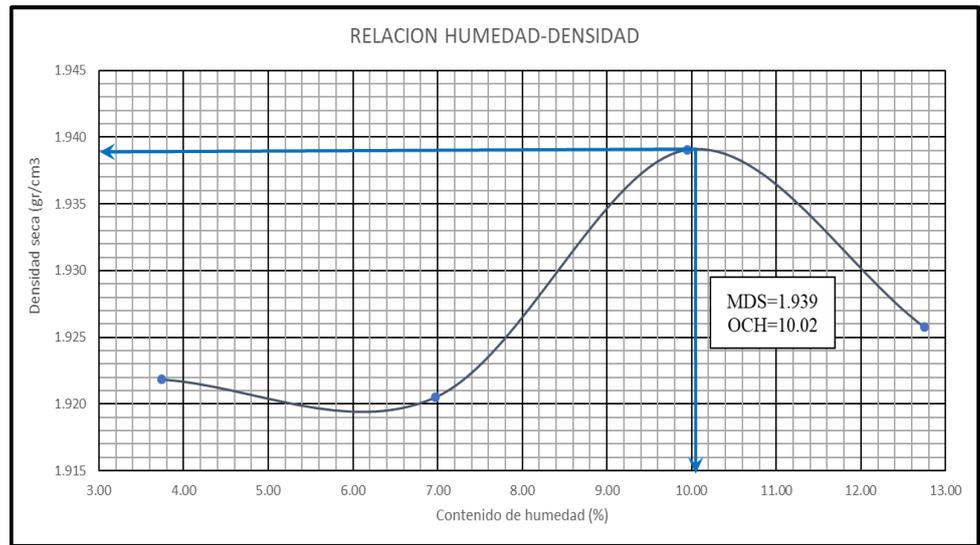


Figura 65. Proctor Modificado de la C-3 +15% de Escoria

Fuente: *Elaboración propia*

- CALICATA N°3 + 25% DE ESCORIA

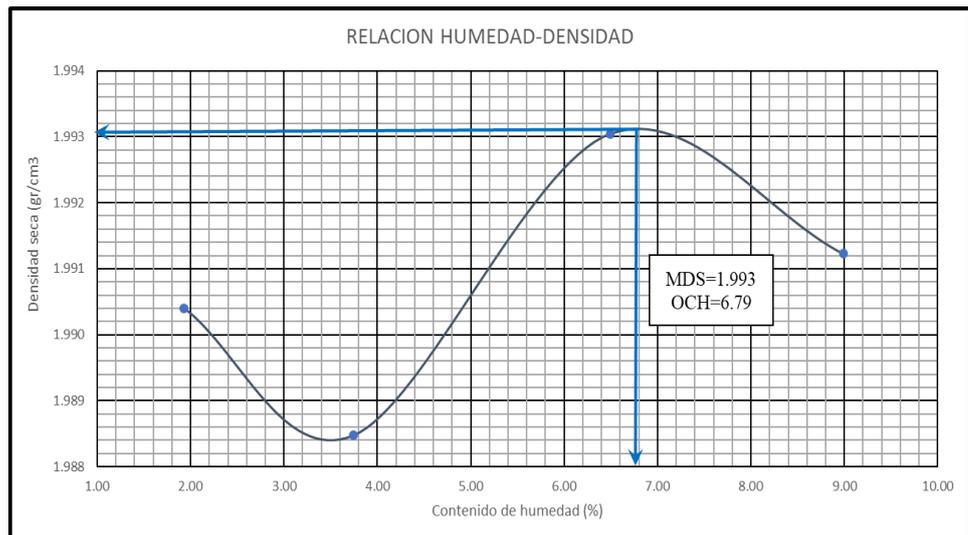


Figura 66. Proctor Modificado de la C-3 +25% de Escoria

Fuente: *Elaboración propia*

- CALICATA N°3 + 40% DE ESCORIA

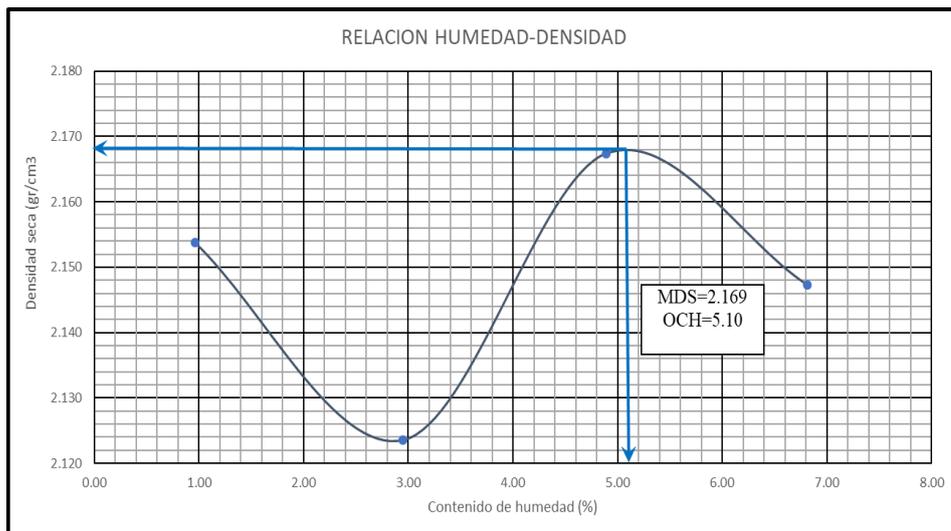


Figura 67. Proctor Modificado de la C-3 +40% de Escoria

Fuente: *Elaboración propia*

Tabla 22.

Resultados del Proctor Modificado para las combinaciones

| CALICATAS | PROCTOR MODIFICADO | |
|--------------------|--------------------|------------|
| | OCH(%) | MDS(g/cm3) |
| C-1+15% de Escoria | 15.77 | 1.741 |
| C-1+25% de Escoria | 13.92 | 1.866 |
| C-1+40% de Escoria | 12.02 | 2.051 |
| C-2+15% de Escoria | 11.95 | 1.741 |
| C-2+25% de Escoria | 9.76 | 1.828 |
| C-2+40% de Escoria | 9.20 | 2.032 |
| C-3+15% de Escoria | 10.02 | 1.939 |
| C-3+25% de Escoria | 6.79 | 1.993 |
| C-3+40% de Escoria | 5.10 | 2.169 |

Fuente: *Elaboración propia*



Figura 68. Gráfico comparativo de la MDS de las combinaciones

Fuente: *Elaboración propia*

ANÁLISIS: Mediante el ensayo de Proctor Modificado se logró determinar la densidad máxima seca para cada una de las combinaciones. En la tabla 22 y la figura 68 se observa los valores de cada uno de las combinaciones.

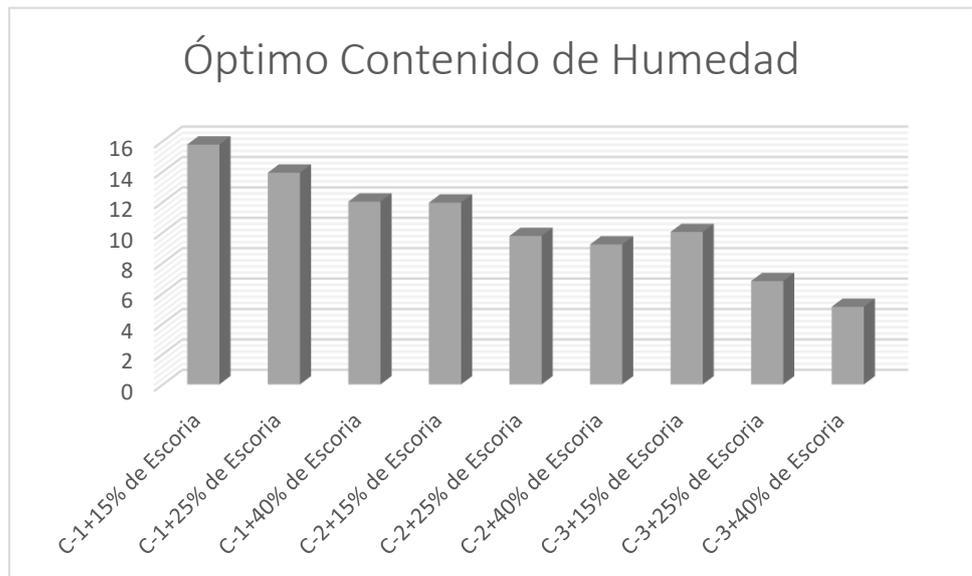


Figura 69. Gráfico comparativo del OCH de las combinaciones

Fuente: *Elaboración propia*

ANÁLISIS: Mediante el ensayo de Proctor Modificado se logró determinar el Óptimo Contenido de Humedad para cada una de las combinaciones. En la figura 69 y la tabla 22 se observa los valores del Óptimo Contenido de Humedad, la cual la Calicata N°1 + 15% de escoria es la de mayor valor con 15.77% y la de menor valor es la Calicata N°3 + 40% de escoria con 5.10%.

4.1.3.5. Ensayo cbr

Realizados el ensayo de Proctor modificado y obteniendo los resultados del máximo contenido de humedad y máxima densidad seca se prosiguió a realizar los ensayos de CBR, lo cual se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 23..
Resultados del ensayo de CBR de las combinaciones

| CALICATAS | CBR 0.1" (KG/CM2) | |
|--------------------|-------------------|----------------|
| | 95% DE LA MDS | 100% DE LA MDS |
| C-1+15% de Escoria | 14.29 | 22.28 |
| C-1+25% de Escoria | 16.21 | 28.12 |
| C-1+40% de Escoria | 22.71 | 40.50 |
| C-2+15% de Escoria | 13.88 | 23.12 |
| C-2+25% de Escoria | 15.95 | 24.88 |
| C-2+40% de Escoria | 19.96 | 30.00 |
| C-3+15% de Escoria | 15.98 | 25.00 |
| C-3+25% de Escoria | 16.68 | 32.00 |
| C-3+40% de Escoria | 21.10 | 42.89 |

Fuente: *Elaboración propia*

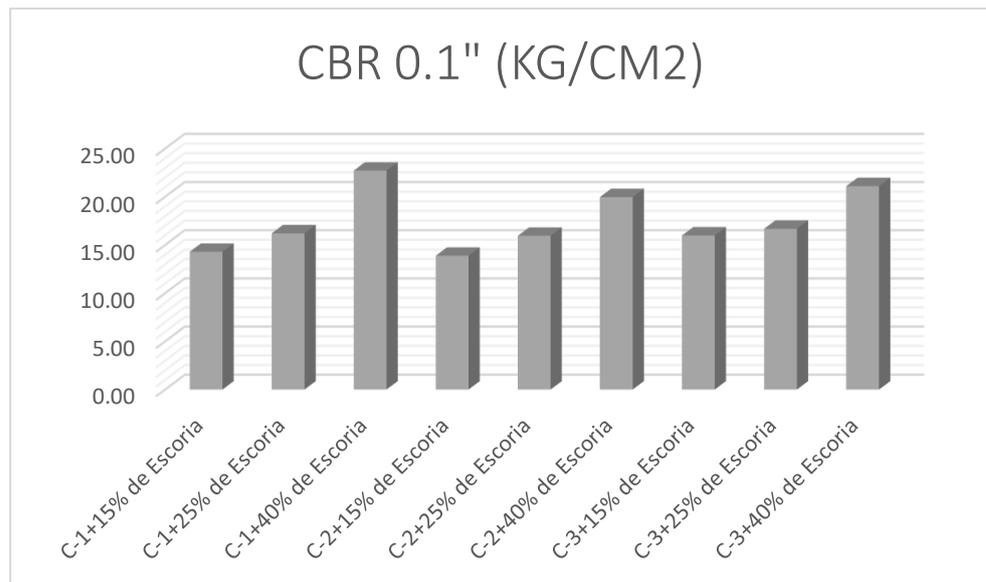


Figura 70. Gráfico comparativo de C.B.R. 0.1”

ANÁLISIS: En la tabla 23 y figura 70 observamos los resultados del ensayo de CBR de las combinaciones de las calicatas naturales con escoria, por lo que para el diseño de pavimento escogeremos C-2 por tener menor valor CBR, y sus distintas combinaciones con escoria.

4.1.4. Diseño de Pavimento Flexible – Método AASHTO

4.1.4.1. Parámetros de Diseño

Se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 24.

Parámetros de Diseño del Pavimento flexible

| Parámetros de Diseño | |
|--|--------------|
| Periodos de Diseño | 20 años |
| Número de cargas de 18,000 lb previstas (w18) | 1,782,421.86 |
| Confiabilidad (R) | 85.00 |
| Desviación normal estándar (ZR) | -1.036 |
| Desviación estándar total (So) | 0.45 |
| Índice de serviciabilidad inicial (Po) | 4.00 |
| Índice de serviciabilidad final (Pt) | 2.50 |

| | |
|--|------------|
| Pérdida de serviciabilidad (ΔPSI) | 1.50 |
| Módulo elástico del concreto asfáltico (EAC) | 430,000.00 |
| Coefficiente de capa del concreto asfáltico (a1) | 0.43 |
| Módulo de la base granular (Mr) | 28,300.00 |
| Coefficiente de capa de la base granular (a2) | 0.13 |
| Coefficiente de drenaje de la base granular (m2) | 1.00 |
| Módulo de la subbase granular (Mr) | 17,200.00 |
| Coefficiente de capa de la subbase granular (a3) | 0.12 |
| Coefficiente de drenaje de la subbase granular (m3) | 1.00 |

Fuente: *Elaboración propia*

4.1.4.2. Módulo de Resiliencia de la subrasante

Se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 25.
Parámetros de Diseño del Pavimento flexible

| Módulo Resiliencia de la subrasante | Mr. |
|-------------------------------------|-----------|
| C2 | 8,025.64 |
| C2 + 15% de Escoria | 13,756.89 |
| C2 + 25% de Escoria | 15,036.88 |
| C2 + 40% de Escoria | 17,357.76 |

Fuente: *Elaboración propia*

4.1.4.3. Determinación de espesores

Utilizando el método AASHTO-1993 para pavimento Flexible se realizó el diseño estructural.

- CALICATA N°2

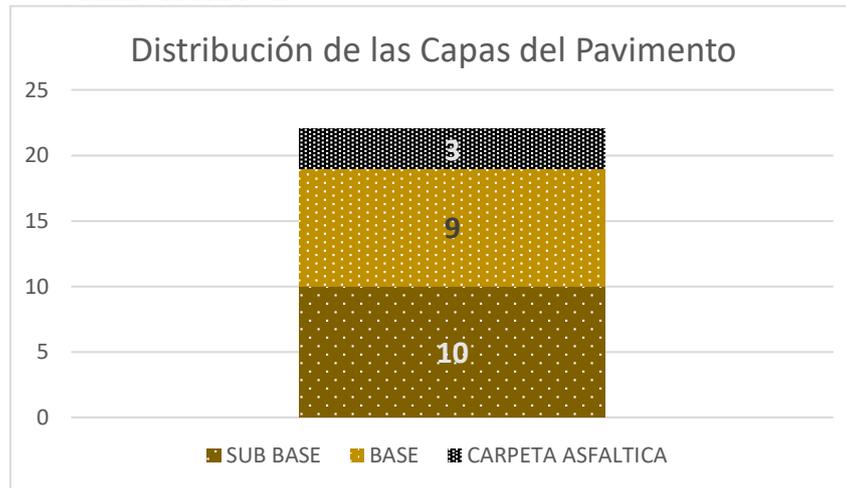


Figura 71. Diseño estructural para C-2 para P.F

Fuente: *Elaboración propia*

ANÁLISIS: En la figura 71, se puede observar las medidas 3, 9 y 10 pulgadas para la sub base, base y carpeta asfáltica respectivamente.

- CALICATA N°2 +15 % DE ESCORIA

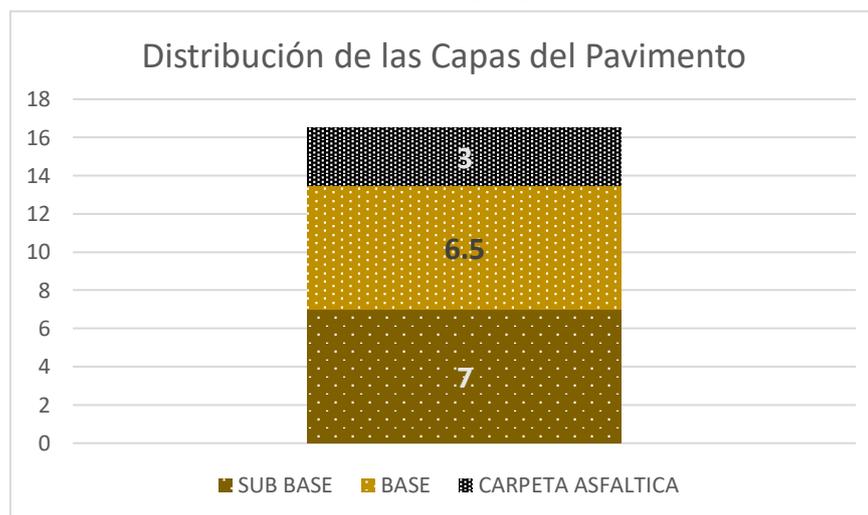


Figura 72. Diseño estructural para C-2 + 15% de Escoria para P.F

Fuente: *Elaboración propia*

ANÁLISIS: En la figura 72, se puede observar las medidas 3, 6.5 y 7 pulgadas para la sub base, base y carpeta asfáltica respectivamente.

- CALICATA N°2 +25 % DE ESCORIA

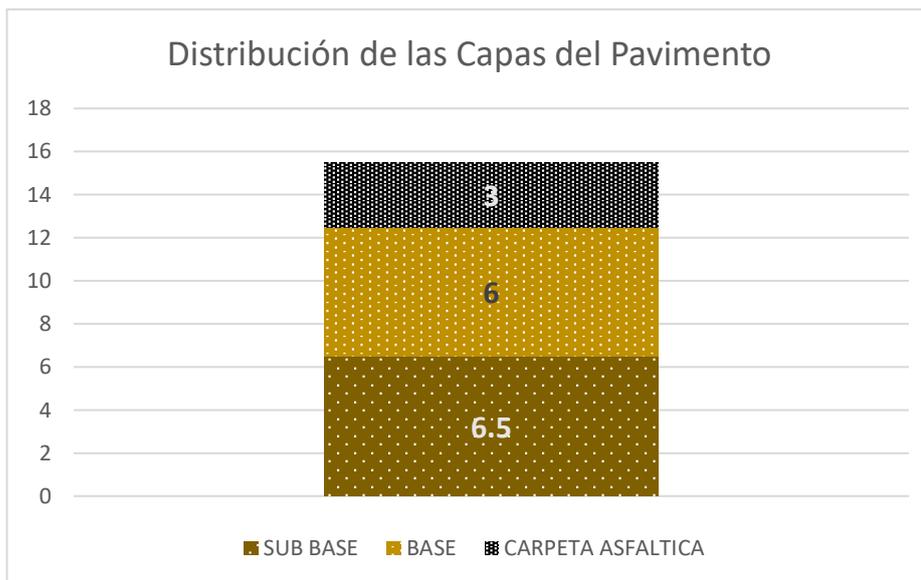


Figura 73. Diseño estructural para C-2 + 25% de Escoria para P.F

Fuente: *Elaboración propia*

ANÁLISIS: En la figura 73, se puede observar las medidas 3, 6 y 6.5 pulgadas para la sub base, base y carpeta asfáltica respectivamente.

- CALICATA N°2 +40 % DE ESCORIA

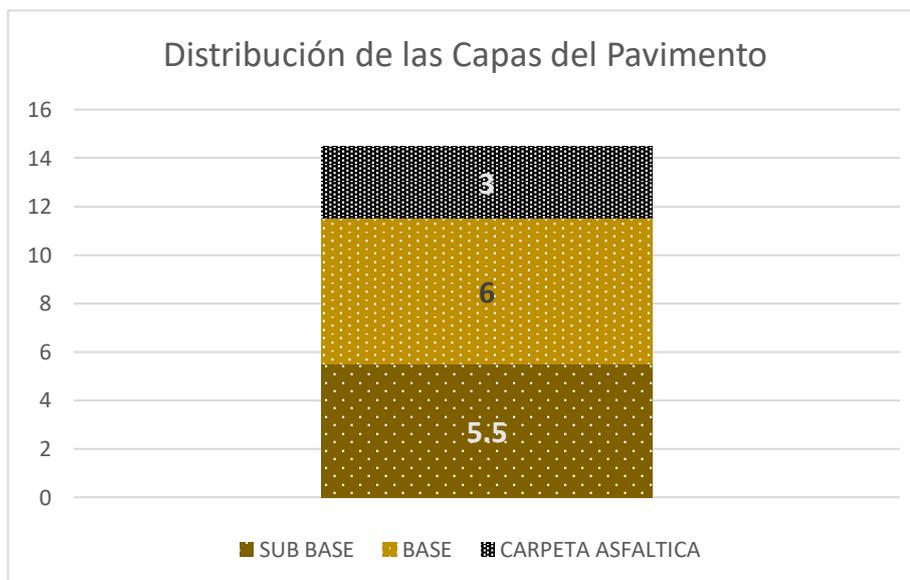


Figura 74. Diseño estructural para C-2 + 40% de Escoria para P.F

Fuente: *Elaboración propia*

ANÁLISIS: En la figura 74, se puede observar las medidas 3, 6 y 5.5 pulgadas para la sub base, base y carpeta asfáltica respectivamente.

Tabla 26.

Resultados de los espesores de la estructura del pavimento flexible

| CALICATA | CARPETA ASFALTICA | BASE | SUB-BASE |
|--------------------|-------------------|------|----------|
| C-2 | 3” | 9” | 10” |
| C-2+15% de Escoria | 3” | 6.5” | 7” |
| C-2+25% de Escoria | 3” | 6” | 6.5” |
| C-2+40% de Escoria | 3” | 6” | 5.5” |

Fuente: *Elaboración propia*

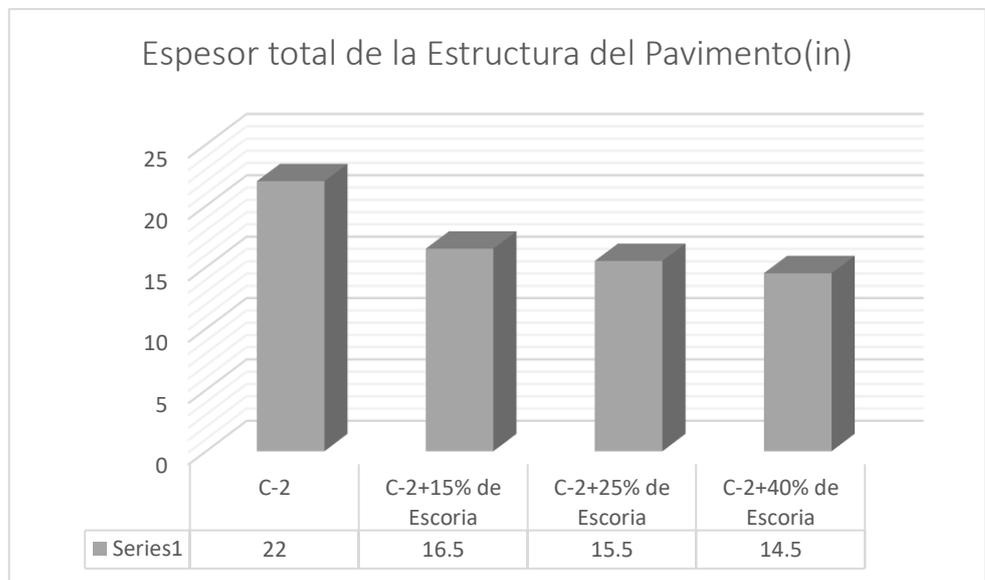


Figura 75. Comparación del espesor Total del Pavimento Flexible

Fuente: *Elaboración propia*

ANÁLISIS: En la figura 75, se puede observar que el espesor total de la estructura del pavimento con mayor medida es para el diseño estructural de la calicata C-2 y la menor fue para C-2 + 40% de Escoria.

4.1.5. Diseño del Pavimento Rígido – Método AASHTO

4.1.5.1. Parámetros de Diseño

Se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 27.

Parámetros de Diseño del Pavimento Rígido

| Parámetros de Diseño | |
|---|--------------|
| Periodos de Diseño | 20 años |
| Número de cargas de 18,000 lb previstas (w18) | 2,148,183.34 |
| Confiabilidad (R) | 85.00 |
| Desviación normal estándar (ZR) | -1.036 |
| Desviación estándar total (So) | 0.35 |
| Índice de serviciabilidad inicial (Po) | 4.30 |
| Índice de serviciabilidad final (Pt) | 2.50 |
| Pérdida de serviciabilidad (ΔPSI) | 1.80 |
| Resistencia del Concreto ($f'c=280$) | 3,983.00 |
| Módulo de elasticidad del concreto (E_c) | 3,597,112.80 |
| Modulo Rotura del Concreto ($S'c$) | 615.00 |
| Coefficiente de drenaje (Cd) | 1.00 |
| Coefficiente de Transmisión de carga (J) | 2.80 |
| Espesor Comercial de la Sub-Base Granular | 6.00 |

Fuente: Elaboración propia

4.1.5.2. Módulo de Reacción de la Subrasante

Se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 28.

Módulo de Reacción de la Subrasante

| Módulo de Reacción de la Subrasante | K |
|-------------------------------------|--------|
| C2 | 157.00 |
| C2 + 15% de Escoria | 219.40 |
| C2 + 25% de Escoria | 229.75 |
| C2 + 40% de Escoria | 250.00 |

Fuente: Elaboración propia

4.1.5.3. Módulo de Reacción de la Subbase

Se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 29.

Módulo de Reacción de la Subrasante

| Módulo de Reacción de la Subbase | K |
|----------------------------------|--------|
| C2 | 188.86 |
| C2 + 15% de Escoria | 245.16 |
| C2 + 25% de Escoria | 256.05 |
| C2 + 40% de Escoria | 277.16 |

Fuente: Elaboración propia

4.1.5.4. Determinación de espesores

Utilizando el método AASHTO-1993 para pavimento Flexible se realizó el diseño estructural.

- CALICATA N°2

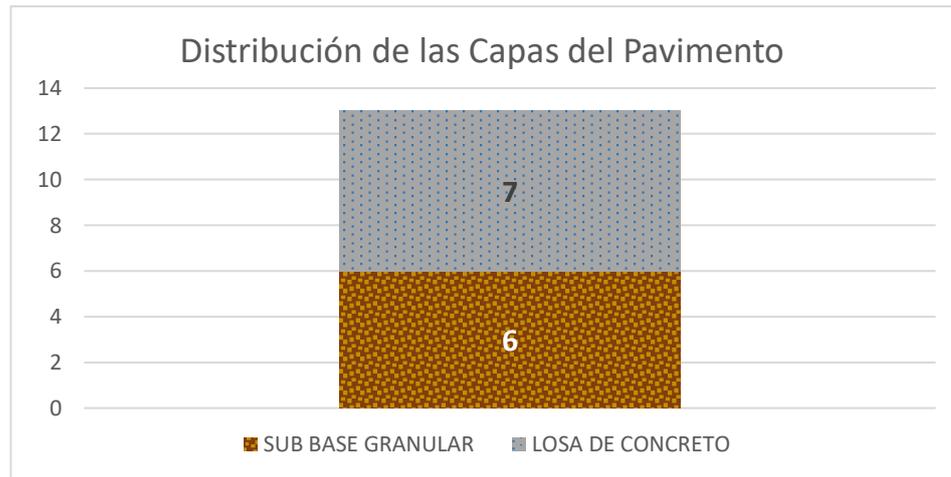


Figura 76. Diseño estructural para C-2 para P.R

Fuente: *Elaboración propia*

ANÁLISIS: En la figura 76, se puede observar las medidas 6 y 7 pulgadas para la sub base granular y losa de concreto respectivamente.

- CALICATA N°2 +15% DE ESCORIA

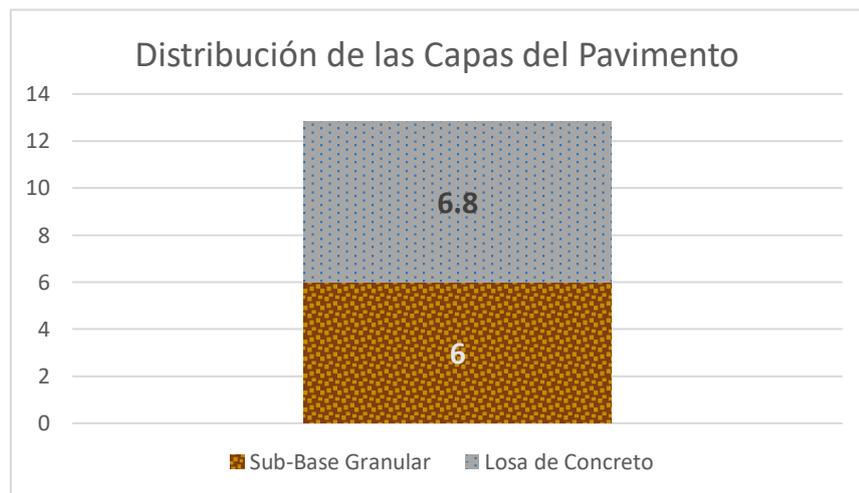


Figura 77. Diseño estructural para C-2 + 15% de Escoria para P.R

Fuente: *Elaboración propia*

ANÁLISIS: En la figura 77, se puede observar las medidas 6 y 8 pulgadas para la sub base granular y losa de concreto respectivamente.

- CALICATA N°2 +25% DE ESCORIA

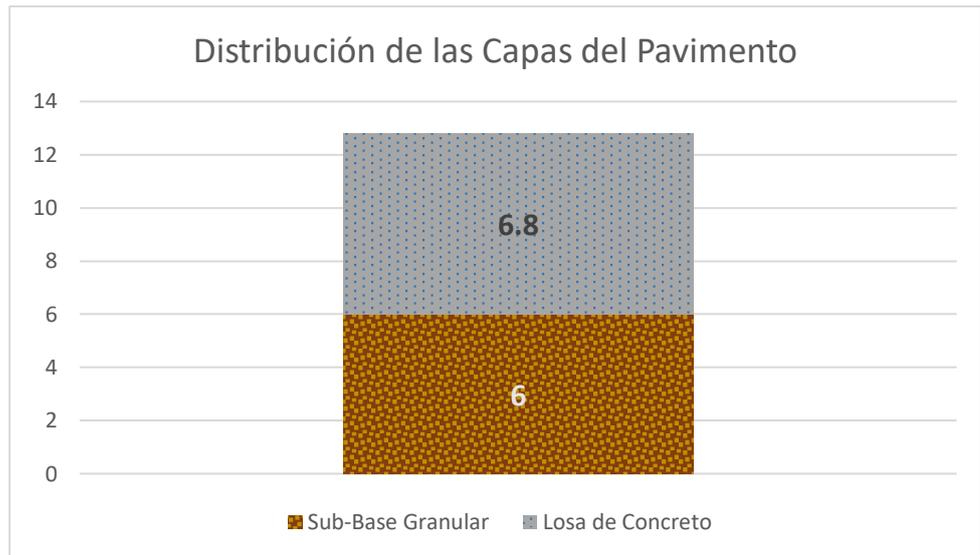


Figura 78. Diseño estructural para C-2 + 25% de Escoria para P.R

Fuente: *Elaboración propia*

ANÁLISIS: En la figura 78, se puede observar las medidas 6 y 6.8 pulgadas para la sub base granular y losa de concreto respectivamente.

- CALICATA N°2 +40% DE ESCORIA

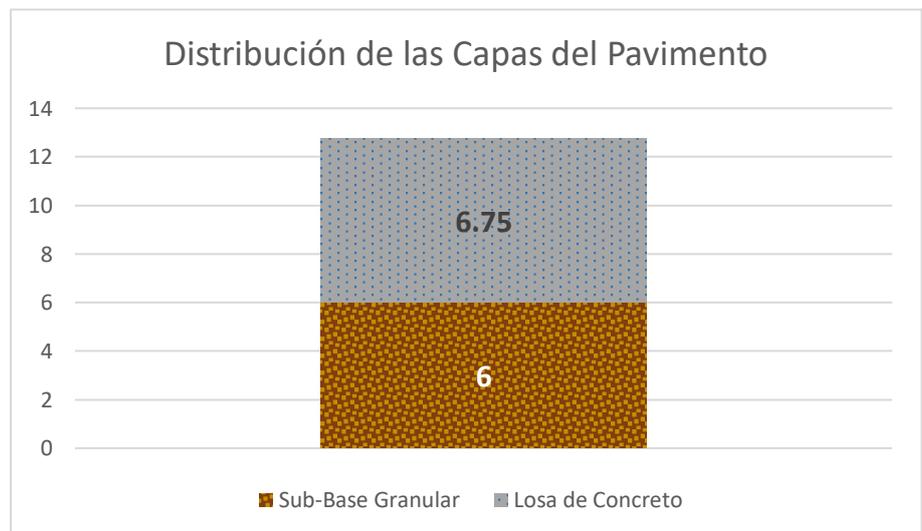


Figura 79. Diseño estructural para C-2 + 40% de Escoria para P.R

Fuente: *Elaboración propia*

ANÁLISIS: En la figura 79, se puede observar las medidas 6 y 6.75 pulgadas para la sub base granular y losa de concreto respectivamente.

Tabla 30.

Resultados de los espesores de la estructura del pavimento rígido

| CALICATA | LOSA DE CONCRETO | SUB-BASE GRANULAR |
|--------------------|------------------|-------------------|
| C-2 | 7” | 6” |
| C-2+15% de Escoria | 6.8” | 6” |
| C-2+25% de Escoria | 6.8” | 6” |
| C-2+40% de Escoria | 6.75” | 6” |

Fuente: *Elaboración propia*

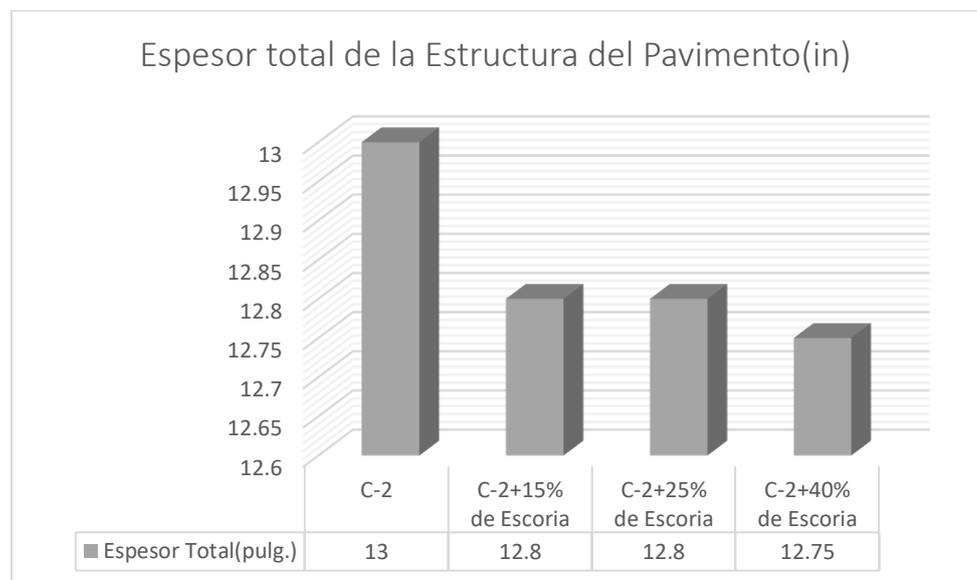


Figura 80. Comparación del espesor Total del Pavimento Rígido

Fuente: *Elaboración propia*

ANÁLISIS: En la figura 80, se puede observar que el espesor total de la estructura del pavimento con mayor medida es para C-2 y la menor para C-2 + 40% de escoria.

4.2. Discusión

- **(Campos y Vega, 2019)**, realizaron el diseño estructural de un pavimento flexible para un suelo natural tipo ML con sus combinaciones 10%,15% y 20% de concreto asfáltico reciclado, obteniendo un espesor total de 22” para el suelo natural y de 20”, 18” y 17” para las combinaciones al 10%, 15% y 20% respectivamente, lo cual significa una reducción en el espesor del pavimento flexible máxima de 5” .La presente investigación también se reduce el espesor para el pavimento flexible , a medida que se aumenta el porcentaje de escoria, ya que al aumentar el porcentaje directamente proporción aumenta su CBR. EL espesor del diseño estructural para pavimento flexible del suelo natural tipo SP fue 22” y la combinación del suelo natural con 40% de escoria fue 14.5”. La reducción de espesor fue de 7.5”.
- **(Ccoillo, 2017)**, realizó el ensayo de CBR para su suelo natural tipo CL y sus combinaciones con escoria en porcentajes 10%,20%,30%,40%, donde determinó a medida que iba incrementando el porcentaje de escoria se incrementa el Valor de CBR. La presente investigación corrobora la información brindada de Ccoillo, ya que en los resultados de suelo lo natural y sus combinaciones con 15%, 25% y 40% se logra aumenta el CBR a medida que se aumenta el porcentaje.
- **(Garcia , 2015)**, nos dice que al adicionar cal estructural en porcentajes de 2%, 4%, 6% y 8%, se obtuvo una variación de índice de plasticidad y densidad seca máxima del suelo. En la presente investigación no se obtuvo variación de índices de plasticidad ya que el suelo natural no tiene estas características, a la vez hubo incremento de la máxima densidad seca del suelo a medida que se aumentaba el porcentaje de escoria.

CAPÍTULO V.

CONCLUSIONES Y

RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Se determinó el diseño óptimo del pavimento para el Mercado la Perla, el cual es un pavimento tipo flexible de un espesor total de 14.5” y será constituida por una capa de concreto asfáltico con espesor de 3”, una capa de base de 6” y una capa de subbase de 5.5”.
- Según los métodos SUCS y AASHTO. Las calicatas N° 1,2 y 3 en clasificación SUCS son del tipo SP es decir arena mal graduada y en clasificación AASHTO son del tipo A-3(0) es decir arena fina. La calicata N° 4 en SUCS es del tipo SP-SM es decir arena mal graduada con limo y en AASHTO es del tipo A-2-4(0) es decir grava y arena arcillosa.
- Se realizaron ensayos de laboratorio para determinar las características físicas y mecánicas del suelo en su estado natural y sus combinaciones con escoria siderúrgica, dentro de los cuales en el ensayo de CBR se obtuvo los siguientes resultados al 95% de MDS: C-1 + 15% de escoria =14.29%, C-1 + 25% de escoria=16.21%, C-1 + 40% de escoria=22.71%, C-2 + 15% de escoria=13.88%, C-2 + 25% de escoria=15.95%, C-2 + 40% de escoria=19.96%, C-3 + 15% de escoria=15.98%, C-3 + 25% de escoria=16.68% y C-3 + 40% de escoria=21.10 %.
- Se diseñaron 2 tipos de pavimentos para la calicata C-2 y sus distintas combinaciones, de acuerdo al diseño estructural para pavimento flexible en el suelo natural se obtuvo un espesor de 22” y para las combinaciones de 15%,25% y 40% se obtuvo 16.5”,15.5” y 14.5” respectivamente. Y de acuerdo al diseño estructural de pavimento rígido se obtuvo un espesor de 13” para el suelo natural y para las combinaciones de 15%,25% y 40% se obtuvo 12.8”, 12.8” y 12.75”.

5.2. Recomendaciones

- Se recomienda realizar todos los ensayos necesarios siguiendo todas las normas y reglamentos.
- Se recomienda a los investigadores aplicar otras dosificaciones en otro tipo de suelos, ya que podrían obtener mejores resultados que la presente investigación.
- Una vez analizados todos los datos de la presente investigación, se recomienda utilizar la escoria siderúrgica como alternativa para mejoramiento los suelos.

CAPÍTULO VI.

REFERENCIAS

BIBLIOGRÁFICAS

6.1 Referencias bibliográficas y virtuales

- Acosta Salgado, J., & Villarraga Moreno, C. (2018). *Analisis del comportamiento de las propiedades mecánicas de un suelo cohesivo y posible uso como material de terraplen: cuando se modifica su composición granulométrica usando escoria de alto horno*. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá.
- Archenti Zegarra, J. F. (2018). *Zonificación de la capacidad portante del suelo en la localidad Lagunas distrito de Lagunas, Alto Amazonas-Región Loreto*. Tarapoto, Peru: Universidad Nacional de San Martín-Tarapoto.
- Bañon Blázquez, L., & Beviá García, J. (2010). *Manual de Carreteras. Volumen II: Construcción y Mantenimiento*. Alicante, España: Ortiz e Hijos, Contratista de Obras, S.A.
- Braja M., D. (2001). *Fundamentos de Ingeniería geotécnica*. California, Estados Unidos: International Thomson Editoriales.
- Camacho Tauta, J., Reyes Ortiz, O., Mayorga Antolinez, C., & Mendez G., D. F. (2006). *evaluación de aditivos usados en el tratamiento de arcillas expansivas*. Universidad Militar Nueva Granada, Colombia.
- Campos Rodríguez, J. L., & Vega Arroyo, A. E. (2019). *Estabilización de suelos con concreto asfáltico reciclado en el P.J. Dos de Mayo-Chimbote*. Nuevo Chimbote-Peru: Universidad Nacional del Santa.
- Ccoillo Inca, I. (2017). *Comportamiento de la subrasante de suelos con adición de escoria en pavimentos flexibles de la Universidad Agraria la Molina-2016*. Lima-Perú: Universidad César Vallejo.

- Collantes, R. d. (2012). *Estabilización de suelos arcillosos con cenizas de carbón para su uso como sub-rasante mejorada y/o sub-base de pavimentos*. Universidad Nacional de ingeniería, Lima.
- Cusquisiban Ocas, W. (2014). *Mejoramiento de suelos arcillosos utilizando caucho granular de neumaticos para fines constructivos de pavimento*. Cajamarca: Universidad Nacional de Cajamarca.
- Duque Escobar, G. (2020). *Manual de geología para ingenieros*. universidad Nacional de colombia, colombia.
- Espinoza Ortega, A. M., & Escobar Mariño, D. A. (2019). *Analisis comparativo y limitaciones de diseño entre terraplenes ejecutados con materiales seleccionados y terreplanes con materiales tolerables*. Bogota, Colombia: Universidad Catolica de Colombia.
- Garcia Gonzales, A. (2015). *Determinacion de la resistencia de la subrasante incorporando calestructural en el suelo limo arcilloso del secotr 14 Mollepampa de Cajamarca*. Cajamarca, Peru: Universidad Privada del Norte.
- IGG. (s.f.). *Norma Tecnica CE.0.10 - Pavimento Urbanos*. Lima - Perú.
- Jesús Alberto Diaz Ariza, J. C. (2015). *estabilizacion de suelos mediante el uso de un aditivo químico a base de compuesto inorgánico*. colombia, Bucaramanga: Universidad industrial de Santander.
- Keller, G., & Sherar, J. (2004). *guia de campo para las mejores practicas de administracion de caminos rurales*. California.
- Leiva Vidal, D., Montenegro Cooper, J., & Ponce Albarca, R. (2017). *Caracterización de suelo arcilloso y su mezcla con escoria blanca proveniente de la siderurgia integral*. Chile.

- Marquina Sierra, M. (2008). *uso de las escorias obtenidas como sub producto de la elaboracion de acero de la planta N°2 de aceros Arequipa - Pisco para fines de cimentación y pavimentacion*. Lima.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2014). *Manual de Suelos, geologia, geotecnia y pavimentos*. Lima, Peru.
- Ministerio de transportes y Comunicaciones. (2016). *Manual de ensayo de materiales*. Lima, Peru.
- Montejo Fonseca, A. (2002). *ingenieria de pavimentos para carreteras*. bogota: Universidad catolica de Colombia.
- Olivos Velasquez, M. A. (2015). *Estimacion del angulo de friccion interna y cohesion no drenada a partir de correlaciones basadas en ensayos In situ para suelos de Piedomonte de los cerros orientales de Bogota DC*. Bogota, COlombia: Universidad piloto de Colombia.
- pavimentos blogspot*. (8 de enero de 2010). Obtenido de <https://libro-pavimentos.blogspot.com/2010/03/caracteristicas-de-la-subrasante.html>
- Ravinez Merino, M. (2010). *Pruebas con un producto enzimatico como agente estabilizador de suelos para carreteras*. Piura, Peru.
- Robin, R. L. (2012). *estabilización de suelos cohesivos por medio de arenas volcánicas y cal viva*. Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
- Roldan, D. A. (2016). *ensayo de fiabilidad con aditivo proesb para la estabilizacion de suelos en el AA.HH el milagro*. Universidad Cientifica del Peru, Lima.
- Salazar Rodriguez, A. (1998). *Guia para el diseño y construcción de pavimentos rigidos*. Mexico: Imcyc.

Zelada Muños , R., & Rodriguez Castillo, A. (2016). *valoracion economica de la escoria de horno electrico de siderperu como producto alternativo a la piedra cantera en el sector construccion*. Trujillo, Peru.

CAPÍTULO VII.

ANEXOS

7.1. Matriz de consistencia

| Pregunta de investigación | Objetivos | Hipótesis | Variable | Definición conceptual de la variable | Dimensión de la variable | Indicadores | | Herramientas | Método |
|---|--|---|------------------------|--------------------------------------|--|---------------------------------------|-----------------------------|--------------------------------------|--|
| Pregunta principal | Objetivo principal | Hipótesis principal | | | | Características físicas de la escoria | Color Forma de partícula | | |
| ¿Cuál él es el diseño óptimo del pavimento utilizando escoria de hornos eléctricos como mejoramiento de la subrasante en el Mercado la Perla? | Determinar el diseño óptimo del pavimento utilizando escoria de hornos eléctricos como mejoramiento de la subrasante | Si diseñamos variados tipos de pavimento mediante diferentes métodos y los comparamos, entonces podremos observar que el diseño de pavimento flexible es el tipo de pavimento más adecuado para el Mercado la perla | variable independiente | escoria de horno eléctrico | Residuo de horno eléctrico, el cual se genera de la fusión de la chatarra y otras adicciones, agregadas dentro del horno eléctrico tales como cal, calcina, carbón y ferroaleaciones, que constituye un residuo aprovechable en el sector de la construcción e infraestructura vial. | Física | | Ficha de observación (ver Anexo 7.2) | Observación |
| | | | | | | Química | Análisis químico | Ficha de observación (ver Anexo 7.2) | Observación |
| | | | | | | Física y mecánica | características del suelo | Análisis granulométrico | juego de tamices, maquina tamizadora, balanza, recipientes, horno eléctrico, cepillo |

| | | | | | | | | | | | |
|----------------------------------|------------------|------------------|----------------------|-----------------------------|---|-----------|--------------------|---------------------|---|----------------------------------|--|
| | | | variable dependiente | Diseño óptimo del pavimento | conjunto de capas superpuestas relativamente horizontales que se diseñan y constituyen técnicamente con materiales apropiados y adecuadamente compactados. Estas capas se apoyan sobre la sub rasante de una vía obtenida por el movimiento de tierras. | normativa | Zonificación | CBR | pisón, moldes cilíndricos con placa de base y collar de extensión, sobrecargas, trípode, probeta, balanza, regla, tina, tara, espátula, cucharón, horno eléctrico, , diales, bandejas | CBR en laboratorio (MTC E 132) | |
| | | | | | | | | normativa | | RNE-E030 Diseño Sismorresistente | Ubicación del terreno |
| | | | | | | | | Técnicas | diagramas de curvatura | software (Excel) | procesamiento de datos recopilados empleando hojas de cálculo en Excel |
| | | | | | | | | normativa | Pavimento flexible Pavimento semi rígido | software (Excel) | Método AASHTO 93 para el diseño de pavimentos |
| Pregunta de investigación | Objetivos | Hipótesis | Variable | | | | Indicadores | Herramientas | Método | | |

| Pregunta específica 1 | Objetivo específico 1 | Hipótesis específico 1 | | Definición conceptual de la variable | Dimensión de la variable | | | | |
|--|---|--|------------------------|--|--------------------------------------|---|--------------------|---------------------------------|-----------------|
| ¿Cuál es el porcentaje óptimo de escoria de hornos eléctricos para mejorar el suelo de la subrasante del mercado La Perla? | Determinar el porcentaje óptimo de escoria de horno eléctrico para mejorar el suelo de la subrasante del mercado La Perla | El porcentaje óptimo de escoria de horno eléctrico será de 25% para mejorar el suelo de la subrasante en el mercado La Perla | variable independiente | escoria de horno eléctrico | ver variable (hipótesis principal) | escoria de horno eléctrico al 15%, 25% y 40% del peso total de la muestra de subrasante a mejorar | peso en kilogramos | balnza, recipientes, tamiz N°40 | porcentajes (%) |
| | | | variable dependiente | Mejoramiento del suelo de la subrasante del mercado La Perla | ver variable (hipótesis principal) | | | | |
| Pregunta de investigación | Objetivos | Hipótesis | Variable | | Definición conceptual de la variable | Dimensión de la variable | Indicadores | Herramientas | Método |
| Pregunta específica 2 | Objetivo específico 2 | Hipótesis específico 2 | | | | | | | |
| ¿Cuál será el diseño óptimo de pavimento, una vez que se logre mejorar el suelo de la | Determinar el diseño de pavimento optimo con una subrasante mejorada | el óptimo diseño de pavimento para el mercado La Perla, será uno de pavimento flexible | variable independiente | Mejoramiento del suelo de la subrasante del mercado La Perla | ver variable (hipótesis principal) | | | | |

| | | | | | | | | | | |
|--|--|--|------------------------|---|---|--------------------|---------------------------|---|--|---|
| subrasante del mercado | | | variable dependiente | Diseño óptimo del pavimento | ver variable (hipótesis principal) | | | | | |
| ¿La Perla con escoria de horno eléctrico? | | | | | | | | | | |
| Pregunta de investigación | Objetivos | Hipótesis | Variable | Definición conceptual de la variable | Dimensión de la variable | Indicadores | | Herramientas | Método | |
| Pregunta específica 3 | Objetivo específico 3 | Hipótesis específico 3 | | | | | | | | |
| ¿Cuáles son las características del suelo de la subrasante del mercado La Perla? | Determinar las características del suelo de la subrasante del mercado La Perla | El suelo de la subrasante del mercado La Perla, presenta una baja capacidad de soporte | variable independiente | características del suelo de la subrasante del mercado La Perla | Se denomina sub rasante al suelo que sirve como fundación para todo el paquete estructural de un pavimento. | Física y mecánica | características del suelo | | | |
| | | | | | | | Análisis granulométrico | juego de tamices, maquina tamizadora, balanza, recipientes, horno eléctrico, cepillo | Análisis granulométrico de suelos por tamizado (MTC E 107) | |
| | | | | | | | Humedad | Horno eléctrico, balanza, guantes, espátula, recipientes resistentes a los cambios bruscos de temperatura | Determinación del contenido de humedad de un suelo (MTC E 108) | |
| | | | | | | | Gravedad especifica | picnómetro, balanza, agua destilada, recipiente de aluminio, estufa eléctrica, cucharon, horno eléctrico, pipeta, embudo, espátulas | Método del ensayo estándar para la gravedad especifica de solidos de suelo mediante picnómetro de agua (MTC E 113) | |
| | | | | | | | Plasticidad | Limite Plástico | Vidrio esmerilado, agua destilada, espátula, recipiente de porcelana, balanza, horno eléctrico, taras, tamiz N°40 | Determinación del límite plástico de los suelos e índice de plasticidad (MTC E 111) |

| | | | | | | | | | | |
|----------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-----------------|---|---------------------------------|--------------------|---------------------|--------------------|---|---|
| | | | | | | | | Limite Liquido | Espátula de hoja flexible, copa de Casagrande, recipiente de porcelana, acanalador, horno eléctrico, tamiz N°40, balanza, taras, agua destilada. | Determinación del límite líquido de los suelos (MTC E 110) |
| | | | | | | | | Proctor Modificado | molde de 4", pisón, balanza, horno eléctrico, bandejas, cucharones, probeta, regla metálica, taras | Compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada (MTC E 111) |
| | | | | | | | | CBR | pisón, moldes cilíndricos con placa de base y collar de extensión, sobrecargas, trípode, probeta, balanza, regla, tina, tara, espátula, cucharón, horno eléctrico, , diales, bandejas | CBR en laboratorio (MTC E 132) |
| Pregunta de investigación | Objetivos | Hipótesis | Variable | Definición conceptual de la variable | Dimensión de la variable | Indicadores | Herramientas | Método | | |
| Pregunta específica 4 | Objetivo específico 4 | Hipótesis específico 4 | | | | | | | | |

| | | | | | |
|--|--|---|-------------------------------|--------------------------------------|---|
| <p>¿Cuáles son las características de las escorias de hornos eléctricos?</p> | <p>Determinar las características físicas y mecánicas de las escorias de horno eléctrico</p> | <p>las escorias de horno eléctrico, son de color oscuro, con una resistencia considerable</p> | <p>variable independiente</p> | <p>escorias de hornos eléctricos</p> | <p>ver variable (hipótesis principal)</p> |
|--|--|---|-------------------------------|--------------------------------------|---|

7.2. Análisis físico y químico de escorias de hornos eléctricos

A. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LA ESCORIA DE HORNO

ELÉCTRICO ELABORADO POR SIDERPERU

| | |
|--------------------------|--|
| presentación | Granel: gravilla (0-3/8"), grava huso 67(3/8" - 1"), grava huso 3(1!- 2"). Grava (2" - 3") y base (3" - 10") |
| Estado físico | Sólido |
| |  |
| Color | Gris y Negro |
| Textura | Rugosa y Áspera |
| Forma | Cúbica y Angular |
| Olor | Ninguno |
| Otras propiedades | Inerte |

B. CLASIFICACIÓN POR TAMAÑOS DE LA ESCORIA DE HORNO

ELÉCTRICO.

| Tamaño | % de la generación mensual |
|---------------|-----------------------------------|
| 0 - 3/8" | 20 |
| 3/8" - 1" | 40 |
| 1" - 2" | 30 |
| 2" - 3" | 5 |
| 3" - 10" | 5 |

C. REPORTE DE ANÁLISIS EN BASE SECA DE ESCORIA DE HORNO

ELÉCTRICO DE SIDERPERU

| parámetro | unidades | Límite de cuantificación | muestra 1 | muestra 2 |
|-----------|----------|--------------------------|-----------|-----------|
| B | % | -- | 0.02 | 0.03 |
| Al | % | -- | 1.55 | 1.31 |
| P | % | -- | 0.13 | 0.09 |
| Ti | % | -- | 0.24 | 0.17 |
| V | % | -- | 0.09 | 0.04 |
| Cr | % | -- | 0.15 | 0.12 |
| Mn | % | -- | 2.25 | 1.28 |
| Cu | % | -- | 0.02 | 0.02 |
| Zn | % | -- | 0.03 | 0.03 |
| Sr | % | -- | 0.03 | 0.02 |
| Mo | % | -- | 14.84 | 41.29 |
| Ba | % | -- | 0.07 | 0.05 |
| Na | % | -- | 0.19 | 0.25 |
| Mg | % | -- | 4.65 | 2.2 |
| K | % | -- | 0.12 | 0.18 |
| Ca | % | -- | 19.08 | 9.21 |
| Fe | % | -- | 18.05 | 25.02 |
| Li | mg/kg | 0.12 | 16.67 | 13.58 |
| Be | mg/kg | 0.06 | 0.83 | 0.58 |
| Co | mg/kg | 0.02 | 6.18 | 25.94 |
| Ni | mg/kg | 0.04 | 44.05 | 246.58 |
| As | mg/kg | 0.04 | 8.86 | 57.85 |
| Se | mg/kg | 0.02 | <0.02 | 0.9 |
| Ag | mg/kg | 0.02 | 1.54 | 8.44 |
| Cd | mg/kg | 0.02 | 0.54 | 3.9 |
| Sn | mg/kg | 0.04 | 62.53 | 500 |
| Sb | mg/kg | 0.02 | 0.57 | 11.14 |
| Ce | mg/kg | 0.03 | 26.05 | 29.68 |
| W | mg/kg | 0.5 | 95.3 | 31.15 |
| Tl | mg/kg | 0.03 | <0.03 | 0.15 |
| Pb | mg/kg | 0.02 | 148.25 | 2200 |
| Bi | mg/kg | 0.03 | <0.03 | <0.03 |
| Th | mg/kg | 0.1 | 3.9 | 4.67 |
| U | mg/kg | 0.03 | 1.94 | 1.74 |
| Hg | mg/kg | 0.01 | 2.66 | 2.54 |

D. RESULTADOS DEL ENSAYO DE INFLAMABILIDAD, CORROSIVIDAD Y REACTIVIDAD EN LA ESCORIA DE HORNO ELÉCTRICO DE SIDERPERU

| parámetro | unidad | LMP | Escoria de horno eléctrico |
|------------------|---------------|------------|-----------------------------------|
| inflamabilidad | mm/s | 2.2 *1 | <2.2 |
| corrosividad | Mmpy | 6.35 *2 | <6.35 |
| Reactividad HCN | mg/kg | 250 *3 | <0.125 |
| reactividad H2S | mg/kg | 500 *4 | <0.01 |

Notas:

*1 EPA SW 846, método 1030: inflamabilidad de sólidos, Rev. 0, Diciembre 1996.

2* Titulo 40 del código de regulaciones federales (CFR) de la Agencia de Protección Ambiental (EPA), subcapítulo I, parte 261, subparte C – características de un residuo peligroso, 261.22 Características de corrosividad.

3* EPA SW 846, método 9014: Método volumétrico y espectrofotómetro para determinar cianuro, Rev.0, Diciembre 1996.

4* EPA SW 846, método 9034: Procedimiento volumétrico para determinación de ácidos solubles y sulfuros insolubles en acido, Rev.0, Diciembre 1996.

E. RESULTADOS DEL ENSAYO DE INFLAMABILIDAD, CORROSIVIDAD Y REACTIVIDAD EN LA ESCORIA DE HORNO ELÉCTRICO DE SIDERPERU

| parámetro | unidad | LMP *1 | escoria de horno eléctrico |
|------------------|---------------|---------------|-----------------------------------|
| Arsénico | mg/L | 5 | <0.005 |
| Bario | mg/L | 100 | 1.275 |
| Cadmio | mg/L | 1 | <0.001 |
| Cromo | mg/L | 5 | 0.004 |
| Mercurio | mg/L | 0.2 | <0.001 |
| Plata | mg/L | 5 | <0.001 |
| Plomo | mg/L | 5 | <0.004 |
| Selenio | mg/L | 1 | <0.005 |

Nota:

1* Título 40 del código de regulaciones federales (CFR) de la Agencia de Protección Ambiental (EPA), subcapítulo I, parte 261, subparte C – Características de un residuo peligroso, 261.24. Características de Toxicidad.

F. RESULTADOS DEL ENSAYO DE INFLAMABILIDAD, CORROSIVIDAD Y REACTIVIDAD EN LA ESCORIA DE HORNO ELÉCTRICO DE SIDERPERU

| parametro | unidad | LMP *1 | escoria de horno eléctrico |
|-------------------------|---------------|-------------------|---------------------------------------|
| Benceno | mg/L | 0.5 | <0.0005 |
| Tetracloruro de carbono | mg/L | 0.5 | <0.001 |
| Clorobenceno | mg/L | 100 | <0.0015 |
| Cloroformo | mg/L | 6 | <0.0015 |
| 1,4 - Diclobenceno | mg/L | 7.5 | <0.001 |
| 1,2 - Dicloroetano | mg/L | 0.5 | <0.001 |
| Hexaclorurobutadieno | mg/L | 0.5 | <0.0003 |
| Tetracloroetileno | mg/L | 0.7 | <0.001 |
| Tricloroetileno | mg/L | 0.5 | <0.001 |

Nota:

*1 Título 40 del código de regulaciones federales (CFR) de la Agencia de Protección Ambiental (EPA), subcapítulo I, parte 261, subparte C – Características de un residuo peligroso, 261.24. Características de Toxicidad

7.3. Perfil estratigráfico

| | | |
|---------------------------------|---|--|
| TESIS: | “DISEÑO ÓPTIMO DEL PAVIMENTO UTILIZANDO ESCORIA DE HORNOS ELÉCTRICOS COMO MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE EN EL MERCADO LA PERLA-CHIMBOTE” | |
| UBICACIÓN: | Lugar: Mercado La Perla Distrito: Chimbote Provincia: Santa Departamento: Ancash | PERFORACIÓN <h1>C-1</h1> |
| TECNICA DE INVESTIGACION | calicata | |
| DIMENSION DE CALICATA | Ancho: 1m -Largo: 1m Profundidad: 1.50m | |

PERFIL ESTRATIGRAFICO DE SUELO

| | | | | | |
|------------------------|--------|-----------------|----|-------------------|---------------------------------|
| Calicata | C - 1 | N.F. (m) | NO | COORDENADA | 8993585.83 m S 768834.41 m E |
| Prof. Total (m) | 1.50 m | | | | |

| Prof. (m.) | Espesor del Estrato (m) | Muestra | N.F | Descripcion Visual del Estrato | Clasificación SUCS / AASHTO | Simbología Gráfica | Observación |
|------------|-------------------------|---------|-----|--|-----------------------------|--------------------|-------------|
| 1.50 | 1.50 | M - 1 | NO | 0.00 - 1.50- ARENA MAL GRADUADA COLOR BEIGE, NO PRESENTO PLASTICIDAD | SP A - 3 (0) | | ---- |

| | | |
|---------------------------------|---|--|
| TESIS: | “DISEÑO ÓPTIMO DEL PAVIMENTO UTILIZANDO ESCORIA DE HORNOS ELÉCTRICOS COMO MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE EN EL MERCADO LA PERLA-CHIMBOTE” | |
| UBICACIÓN: | Lugar: Mercado La Perla Distrito: Chimbote Provincia: Santa Departamento: Ancash | PERFORACIÓN <h1>C-2</h1> |
| TECNICA DE INVESTIGACION | calicata | |
| DIMENSION DE CALICATA | Ancho: 1m -Largo: 1m Profundidad: 1.50m | |

PERFIL ESTRATIGRAFICO DE SUELO

| | | | | | |
|------------------------|--------|-----------------|----|-------------------|---------------------------------|
| Calicata | C - 1 | N.F. (m) | NO | COORDENADA | 8993446.64 m S 768739.81 m E |
| Prof. Total (m) | 1.50 m | | | | |

| Prof. (m.) | Espesor del Estrato (m) | Muestra | N.F | Descripcion Visual del Estrato | Clasificación SUCS / AASHTO | Simbología Gráfica | Observación |
|------------|-------------------------|---------|-----|--|-----------------------------|--------------------|-------------|
| 1.50 | 1.50 | M - 1 | NO | 0.00 - 1.50- ARENA MAL GRADUADA COLOR BEIGE, NO PRESENTO PLASTICIDAD | SP A - 3 (0) | | --- |

| | | |
|---------------------------------|---|--------------------------------------|
| TESIS: | “DISEÑO ÓPTIMO DEL PAVIMENTO UTILIZANDO ESCORIA DE HORNOS ELÉCTRICOS COMO MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE EN EL MERCADO LA PERLA-CHIMBOTE” | |
| UBICACIÓN: | Lugar: Mercado La Perla Distrito: Chimbote Provincia: Santa Departamento: Ancash | PERFORACIÓN C-3 |
| TECNICA DE INVESTIGACION | calicata | |
| DIMENSION DE CALICATA | Ancho: 1m -Largo: 1m Profundidad: 1.50m | |

PERFIL ESTRATIGRAFICO DE SUELO

| | | | | | |
|------------------------|--------|-----------------|----|-------------------|---------------------------------|
| Calicata | C - 1 | N.F. (m) | NO | COORDENADA | 8993330.81 m S 768553.35 m E |
| Prof. Total (m) | 1.50 m | | | | |

| Prof. (m.) | Espesor del Estrato (m) | Muestra | N.F | Descripcion Visual del Estrato | Clasificación SUCS / AASHTO | Simbología Gráfica | Observación |
|------------|-------------------------|---------|-----|--|-----------------------------|--------------------|-------------|
| 1.50 | 1.50 | M - 1 | NO | 0.00 - 1.50- ARENA MAL GRADUADA COLOR BEIGE, NO PRESENTO PLASTICIDAD | SP A - 3 (0) | | ---- |

| | | |
|---------------------------------|---|--|
| TESIS: | “DISEÑO ÓPTIMO DEL PAVIMENTO UTILIZANDO ESCORIA DE HORNOS ELÉCTRICOS COMO MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE EN EL MERCADO LA PERLA-CHIMBOTE” | |
| UBICACIÓN: | Lugar: Mercado La Perla Distrito: Chimbote Provincia: Santa Departamento: Ancash | PERFORACIÓN <h1>C-4</h1> |
| TECNICA DE INVESTIGACION | calicata | |
| DIMENSION DE CALICATA | Ancho: 1m -Largo: 1m Profundidad: 1.50m | |

PERFIL ESTRATIGRAFICO DE SUELO

| | | | | | |
|------------------------|--------|-----------------|----|-------------------|---------------------------------|
| Calicata | C - 1 | N.F. (m) | NO | COORDENADA | 8993373.00 m S 768686.00 m E |
| Prof. Total (m) | 1.50 m | | | | |

| Prof. (m.) | Espesor del Estrato (m) | Muestra | N.F | Descripcion Visual del Estrato | Clasificación SUCS / AASHTO | Simbología Gráfica | Observación |
|------------|-------------------------|---------|-----|---|-----------------------------|--------------------|-------------|
| 0.50 | 0.50 | M - 1 | NO | 0.00 - 0.50 - ARENA MAL GRADUADA COLOR BEIGE, NO PRESENTO PLASTICIDAD. | SP A-3 (0) | | ---- |
| 1.50 | 1.00 | M - 2 | NO | 0.50 - 1.50 - ARENA MAL GRADUADA CON LIMO, NO TIENE PLASTICIDAD | SP-SM A - 2 - 4 (0) | | ---- |

7.4. Memoria de Cálculo

1. Diseño de Pavimento Flexible-Método AASHTO

A. Periodo de diseño

De la tabla 31, se adoptará un periodo de diseño de 20 años.

Tabla 31.
Periodo de Análisis y Diseño

| Tipo de Carretera | Periodo de Diseño (Años) |
|---|--------------------------|
| Urbana de tránsito elevado. | 30 – 50 |
| Interurbana de tránsito elevado | 20 – 50 |
| Pavimentada de baja intensidad de tránsito | 15 – 25 |
| De baja intensidad de tránsito, pavimentación con grava | 10 – 20 |

Fuente: AASHTO, Guía para diseño de estructuras de pavimentos 1993

B. Cálculo del número de ESALs

- Cálculo de ingreso y salida de vehículos al mercado La Perla

Tabla 32.
Índice medio diario semanal

| | VEHICULOS | IMDs |
|----------------------------|-----------|------------|
| VEHICULOS DE CARGA LIVIANA | MOTOTAXI | 2938.57143 |
| | MOTOCARGA | 2021.71429 |
| | AUTO | 5969.14286 |
| | STATION | 1325.14286 |
| | WAGON | 346.571429 |
| | PICK UP | 10.8571429 |
| | PANEL | 22.2857143 |
| CAMION | 2 E | 10.5714286 |
| | 3 E | 12.2857143 |
| | 4 E | 14 |
| SEMI TRAYLER | T2S1 | 15.7142857 |
| | T2S2 | 6 |
| | 2S3 | |

Fuente: Elaboración propia

- Determinación de factor de corrección estacional por unidad de peaje y mes de estudio

| Factor de corrección estacional | | | |
|---------------------------------|------------|--------|--------|
| veh. Livianos | fe: | 1.0827 | agosto |
| veh. Pesados | fe: | 1.0182 | agosto |

Figura 81. Factor de corrección estacional

- Cálculo de IMDa: producto de del IMDs por su factor de corrección estacional.

Tabla 33.

Índice Medio Diario Anual

| | VEHICULOS | IMDa |
|-------------------------------|-----------|------|
| VEHICULOS DE CARGA LIVIANA | MOTOTAXI | 3182 |
| | MOTOCARGA | 2189 |
| | AUTO | 6463 |
| | STATION | 1435 |
| | WAGON | 375 |
| | PICK UP | 12 |
| | PANEL | 23 |
| CAMION | 2 E | 11 |
| | 3 E | 13 |
| | 4 E | 14 |
| SEMI TRAYLER | T2S1 | 16 |
| | T2S2 | 6 |
| | 2S3 | |

- Cálculo de tasas de crecimiento y proyección

$$T_n = T_o (1 + r)^{n-1}$$

Figura 82. Tránsito proyectado al año "n" en veh/ día

Fuente: recuperado de Manual de carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y pavimentos, p.75, Lima Perú

Donde:

T_n = Tránsito proyectado al año “n” en veh/día

T_o = Tránsito actual (año base 0) en veh/día

n = año futuro de proyección

r = Tasa anual de crecimiento del tránsito

| Tasa de Crecimiento de Vehículos Ligeros | |
|--|-------|
| | TC |
| Amazonas | 0.62% |
| Ancash | 0.59% |
| Apurímac | 0.59% |
| Arequipa. | 1.07% |
| Ayacucho | 1.18% |
| Cajamarca. | 0.57% |
| Callao | 1.56% |
| Cusco. | 0.75% |
| Huancavelica. | 0.83% |
| Huánuco. | 0.91% |
| Ica. | 1.15% |
| Junín. | 0.77% |
| La Libertad | 1.26% |
| Lambayeque. | 0.97% |
| Lima Provincia | 1.45% |
| Lima. | 1.45% |
| Loreto. | 1.30% |
| Madre de Dios | 2.58% |
| Moquegua | 1.08% |
| Pasco. | 0.84% |
| Piura. | 0.87% |
| Puno. | 0.92% |
| San Martín. | 1.49% |
| Tacna. | 1.50% |
| Tumbes. | 1.58% |
| Ucayali | 1.51% |

Figura 83. Tasa de crecimiento de vehículos ligeros

| Tasa de Crecimiento de Vehículos Pesados | |
|--|-------|
| | PBI |
| Amazonas | 3.42% |
| Ancash | 1.05% |
| Apurímac | 6.65% |
| Arequipa. | 3.37% |
| Ayacucho | 3.60% |
| Cajamarca. | 1.29% |
| Cusco. | 4.43% |
| Huancavelica. | 2.33% |
| Huánuco. | 3.85% |
| Ica. | 3.54% |
| Junín. | 3.90% |
| La Libertad | 2.83% |
| Lambayeque. | 3.45% |
| Callao | 3.41% |
| Lima Provincia | 3.07% |
| Lima. | 3.69% |
| Loreto. | 1.29% |
| Madre de Dios | 1.98% |
| Moquegua | 0.27% |
| Pasco. | 0.36% |
| Piura. | 3.23% |
| Puno. | 3.21% |
| San Martín. | 3.84% |
| Tacna. | 2.88% |
| Tumbes. | 2.60% |
| Ucayali | 2.77% |

Figura 84. Tasa de crecimiento de vehículos pesados

Tabla 34.

Población futura de vehículos

| VEHICULOS | 2024 |
|------------------|------------|
| MOTOTAXI | 3219.65837 |
| MOTOCARGA | 2214.9064 |
| AUTO | 6539.48838 |
| STATION | 1451.98295 |
| WAGON | |
| PICK UP | 379.438054 |
| PANEL | 12.1420177 |
| 2 E | 23.4855358 |
| 3 E | 11.2322128 |

| | |
|-------------|------------|
| 4 E | 13.2744333 |
| T2S1 | 14.2955435 |
| T2S2 | 16 |
| 2S3 | 6.1266615 |

Tabla 35,

Indice Medio diario Anual de Pavimento flexible

| TIPO DE VEHICULO | IMDA | TIPO | NUMERO | CARGA | *f P. | f IMDA | |
|-----------------------|-----------|---------------|---------|--------|-------------|-------------|-----------|
| | 2024 | EJE | LLANTAS | EJE Tn | FLEXIBLE | FLEXIBLE | |
| VEHICULOS LIVIANOS | 3219.6584 | | 1 | 0.3 | 4.26883E-06 | 0.0137442 | |
| | | Mototaxi | 2 | 0.6 | 6.83013E-05 | 0.219907 | |
| | 2214.9064 | | 1 | 0.3 | 4.26883E-06 | 0.0094551 | |
| | | Motocarga | 2 | 1 | 0.000527017 | 1.1672923 | |
| | 6539.4884 | SIMPLE | 2 | 1 | 0.000527017 | 3.4464186 | |
| | | | SIMPLE | 2 | 1 | 0.000527017 | 3.4464186 |
| | 1451.983 | SIMPLE | 2 | 1 | 0.000527017 | 0.7652191 | |
| | | Station wagon | SIMPLE | 2 | 1 | 0.000527017 | 0.7652191 |
| | 379.43805 | SIMPLE | 2 | 1 | 0.000527017 | 0.1999701 | |
| | | Pick Up | SIMPLE | 2 | 1 | 0.000527017 | 0.1999701 |
| | 12.142018 | SIMPLE | 2 | 1 | 0.000527017 | 0.006399 | |
| | | Panel | SIMPLE | 2 | 1 | 0.000527017 | 0.006399 |
| | CAMION | 23.485536 | SIMPLE | 2 | 7 | 1.265366749 | 29.717816 |
| | | | SIMPLE | 4 | 11 | 3.238286961 | 76.052904 |
| C3 | | SIMPLE | 2 | 7 | 1.265366749 | 14.212869 | |

| | | | | | | | |
|---------|------|-----------|--------|----|----|--------------|------------------|
| | | | TANDEM | 8 | 18 | 2.019213454 | 22.680235 |
| | | 13.274433 | SIMPLE | 2 | 7 | 1.265366749 | 16.797026 |
| | C4 | | TRIDEM | 10 | 23 | 1.508183597 | 20.020282 |
| | | 14.295544 | SIMPLE | 2 | 7 | 1.265366749 | 18.089105 |
| | T2S1 | | SIMPLE | 4 | 11 | 3.238286961 | 46.293072 |
| | | | SIMPLE | 4 | 11 | 3.238286961 | 46.293072 |
| | | 16 | SIMPLE | 2 | 7 | 1.265366749 | 20.245868 |
| SEMI | T2S2 | | SIMPLE | 4 | 11 | 3.238286961 | 51.812591 |
| TRAYLER | | | TANDEM | 8 | 18 | 2.019213454 | 32.307415 |
| | | 6.1266615 | SIMPLE | 2 | 7 | 1.265366749 | 7.7524737 |
| | T2S3 | | SIMPLE | 4 | 11 | 3.238286961 | 19.839888 |
| | | | TRIDEM | 12 | 25 | 1.706026248 | 10.452245 |
| | | | | | | TOTAL | 442.81328 |

Carga por eje en toneladas (pesos extraídos del Reglamento Nacional de vehículos p. 78)

Cuadro 6.3
Relación de Cargas por Eje para determinar Ejes Equivalentes (EE)
Para Afirmados, Pavimentos Flexibles y Semirrígidos

| Tipo de Eje | Eje Equivalente (EE _{8.2 tn}) |
|--|--|
| Eje Simple de ruedas simples (EE _{S1}) | $EE_{S1} = [P / 6.6]^{4.0}$ |
| Eje Simple de ruedas dobles (EE _{S2}) | $EE_{S2} = [P / 8.2]^{4.0}$ |
| Eje Tandem (1 eje ruedas dobles + 1 eje rueda simple) (EE _{TA1}) | $EE_{TA1} = [P / 14.8]^{4.0}$ |
| Eje Tandem (2 ejes de ruedas dobles) (EE _{TA2}) | $EE_{TA2} = [P / 15.1]^{4.0}$ |
| Ejes Tridem (2 ejes ruedas dobles + 1 eje rueda simple) (EE _{TR1}) | $EE_{TR1} = [P / 20.7]^{3.9}$ |
| Ejes Tridem (3 ejes de ruedas dobles) (EE _{TR2}) | $EE_{TR2} = [P / 21.8]^{3.9}$ |
| P = peso real por eje en toneladas | |

Fuente: Elaboración Propia, en base a correlaciones con los valores de las Tablas del apéndice D de la Guía AASHTO'93

Figura 85. Relación de carga por eje

Fuente: recuperado de *Manual de carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y pavimentos*, p.79, Lima Perú

$$f \text{ IMDa flexible} = \text{ejes equivalentes} \times \text{IMDa}$$

Determinación de factor ponderado para carril de diseño (fc*fd)

Cuadro 6.1
Factores de Distribución Direccional y de Carril para determinar el Tránsito en el Carril de Diseño

| Número de calzadas | Número de sentidos | Número de carriles por sentido | Factor Direccional (Fd) | Factor Carril (Fc) | Factor Ponderado Fd x Fc para carril de diseño |
|---|--------------------|--------------------------------|-------------------------|--------------------|--|
| 1 calzada (para IMDa total de la calzada) | 1 sentido | 1 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| | 1 sentido | 2 | 1.00 | 0.80 | 0.80 |
| | 1 sentido | 3 | 1.00 | 0.60 | 0.60 |
| | 1 sentido | 4 | 1.00 | 0.50 | 0.50 |
| | 2 sentidos | 1 | 0.50 | 1.00 | 0.50 |
| | 2 sentidos | 2 | 0.50 | 0.80 | 0.40 |
| 2 calzadas con separador central (para IMDa total de las dos calzadas) | 2 sentidos | 1 | 0.50 | 1.00 | 0.50 |
| | 2 sentidos | 2 | 0.50 | 0.80 | 0.40 |
| | 2 sentidos | 3 | 0.50 | 0.60 | 0.30 |
| | 2 sentidos | 4 | 0.50 | 0.50 | 0.25 |

Fuente: Elaboración Propia, en base a datos de la Guía AASHTO'93

Figura 86. Factores de distribución direccional y de carril

Fuente: recuperado de *Manual de carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y pavimentos, p.75, Lima Perú*

Reemplazar valores en la siguiente fórmula

| Pavimento Flexible | | |
|--|----------------------------------|--|
| Tasa anual de crecimiento. Vehículos pesados | r: | 1.05% |
| Tiempo de vida útil de pavimento (años) | n: | 20 |
| Factor F_{ca} vehículos pesados | $F_{ca} = \frac{(1+r)^n - 1}{r}$ | F_{ca} 22.126 |
| N° de calzadas, sentidos y carriles por sentido | | 1 calzada, 2 sentidos, 1 carril por sentido |
| Factor direccional * Factor carril ($F_d * F_c$) | $F_c * F_d$ | 0.5 |
| Número de ejes equivalentes (ESAL) | ESAL | 1788117.168 |
| $\#EE = 365 * (\sum f.IMDa) * F_d * F_c * F_{ca}$ | | |

Mediante la ecuación $W18 = ESALs \times DD \times LD$, se obtuvo el valor de los ESALs en el carril de diseño ($W18$) que es 1,788,117.17.

C. Tipo de Tráfico

De la Figura 16 teniendo en cuenta el ESALs calculado, el tipo de tráfico es T_{p6} .

| | |
|----------|-----------------------------------|
| T_{p5} | > 1'000,000 EE ≤ 1'500,000 EE |
| T_{p6} | > 1'500,000 EE ≤ 3'000,000 EE |
| T_{p7} | > 3'000,000 EE ≤ 5'000,000 EE |
| T_{p8} | > 5'000,000 EE ≤ 7'500,000 EE |
| T_{p9} | > 7'500,000 EE ≤ 10'000,000 EE |

Figura 16. Número de repeticiones acumuladas de ejes equivalentes de 8.2t en el carril de diseño

D. Índice de Confianza

De la Figura 17 tomando el tipo de tráfico T_{p6} , se tomó la confiabilidad de 85% .

| | | | | |
|------------------|------------------|-------------|------------|-----|
| Resto de Caminos | T _{P5} | 1,000,001 | 1,500,000 | 85% |
| | T _{P6} | 1,500,001 | 3,000,000 | 85% |
| | T _{P7} | 3,000,001 | 5,000,000 | 85% |
| | T _{P8} | 5,000,001 | 7,500,000 | 90% |
| | T _{P9} | 7,500,001 | 10'000,000 | 90% |
| | T _{P10} | 10'000,001 | 12'500,000 | 90% |
| | T _{P11} | 12'500,001 | 15'000,000 | 90% |
| | T _{P12} | 15'000,001 | 20'000,000 | 95% |
| | T _{P13} | 20'000,001 | 25'000,000 | 95% |
| | T _{P14} | 25'000,001 | 30'000,000 | 95% |
| | T _{P15} | >30'000,000 | | 95% |

Figura 17, Valores recomendados de Nivel de confiabilidad para una sola etapa de diseño (10 o 20 años)

E. Desviación Estándar Normal

De la Figura 18 tomando el tipo de tráfico Tp6 , se tomó una desviación de -1.036.

| | | | | |
|------------------|------------------|------------|------------|--------|
| Resto de Caminos | T _{P5} | 1,000,001 | 1,500,000 | -1.036 |
| | T _{P6} | 1,500,001 | 3,000,000 | -1.036 |
| | T _{P7} | 3,000,001 | 5,000,000 | -1.036 |
| | T _{P8} | 5,000,001 | 7,500,000 | -1.282 |
| | T _{P9} | 7,500,001 | 10'000,000 | -1.282 |
| | T _{P10} | 10'000,001 | 12'500,000 | -1.282 |

Figura 18. Coeficiente estadístico de la Desviación Estándar Normal (Zr)

F. Error de Combinación Estándar

De la Tabla 11, se tomó el valor de 0.45 porque la Guía AASHTO recomienda adoptar para los pavimentos flexibles.

Tabla 11.

Error de combinación estándar

| | | | |
|-------------|---|-------------|----------------------|
| 0.30 | - | 0.40 | Pavimentos rígidos |
| 0.40 | - | 0.50 | Pavimentos flexibles |

G. Criterios de adopción de niveles de serviciabilidad

Se adoptó el valor de 4.0 para la serviciabilidad inicial (p_0), según lo figura 20 y el valor de 2.5 para la serviciabilidad final o terminal (p_t), según la figura 19; lo que implica que la pérdida de serviciabilidad (ΔPSI) es 1.5.

| | | | | |
|-------------------------|-----------|------------|------------|------|
| | T_{P5} | 1,000,001 | 1,500,000 | 4.00 |
| | T_{P6} | 1,500,001 | 3,000,000 | 4.00 |
| | T_{P7} | 3,000,001 | 5,000,000 | 4.00 |
| | T_{P8} | 5,000,001 | 7,500,000 | 4.00 |
| | T_{P9} | 7,500,001 | 10'000,000 | 4.00 |
| Resto de Caminos | T_{P10} | 10'000,001 | 12'500,000 | 4.00 |

Figura 19. Índice de serviciabilidad Inicial (P_i)

| | | | | |
|-------------------------|-----------|------------|------------|------|
| | T_{P5} | 1,000,001 | 1,500,000 | 2.50 |
| | T_{P6} | 1,500,001 | 3,000,000 | 2.50 |
| | T_{P7} | 3,000,001 | 5,000,000 | 2.50 |
| | T_{P8} | 5,000,001 | 7,500,000 | 2.50 |
| | T_{P9} | 7,500,001 | 10'000,000 | 2.50 |
| Resto de Caminos | T_{P10} | 10'000,001 | 12'500,000 | 2.50 |

Figura 20. Índice de serviciabilidad Final (P_t)

H. Módulo resiliente del material de subrasante

De la Tabla 18 y 23, se obtuvieron los valores: C-2=5.98%, C-2+15% de Escoria=13,88%, C-2+25% de Escoria=15,95% y C-2+40% de Escoria=19,96%.

Mediante la ecuación de correlación $M_R=2,555 \times (CBR)^{0.64}$, se obtuvo el valor del módulo resiliente (M_R) que fueron: C-2=8,025.24 psi, C-2+15% de Escoria=13,756.89 psi , C-2+25% de Escoria=15,036.88 psi y C-2+40% de Escoria=17,357.76 .

I. Coeficientes Estructurales de los materiales

- Concreto Asfáltico(a1)

Del Manual de carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y pavimentos considera valor del módulo elástico del concreto asfáltico =430,000 psi y haciendo uso del gráfico de la Figura 21 se encontró el coeficiente estructural del concreto asfáltico (a1) igual a 0.432.

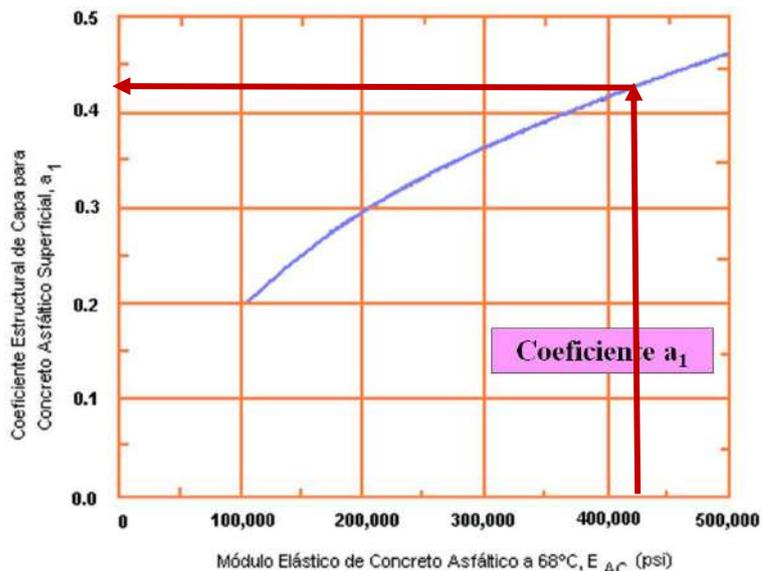


Figura 21. Módulo elástico de concreto asfáltico

- Base granular(a2)

Del Manual de carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y pavimentos considera un CBR mínimo de 80% y haciendo uso del gráfico de la Figura 21 se encontró el coeficiente estructural de la base granular (a2) igual a 0.132 con un módulo resiliencia de 28,300.

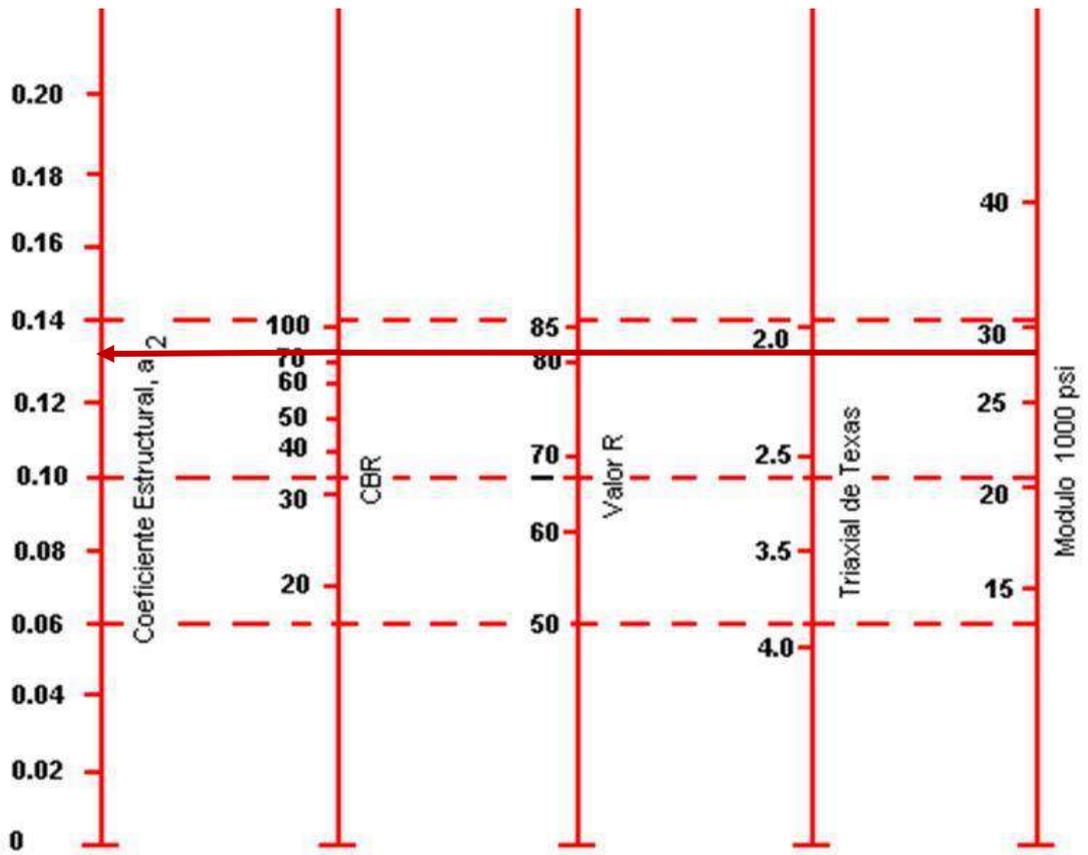


Figura 87. Abaco para determinar el coeficiente estructural para la capa de base granular (a2)

Fuente: recuperado de Método AASHTO-1993

- Sub Base granular(a3)

Del Manual de carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y pavimentos considera un CBR mínimo de 40% y haciendo uso del gráfico 21 se encontró

el coeficiente estructural del concreto asfáltico (a_3) igual a 0.12 con un módulo resiliencia de 17,200.

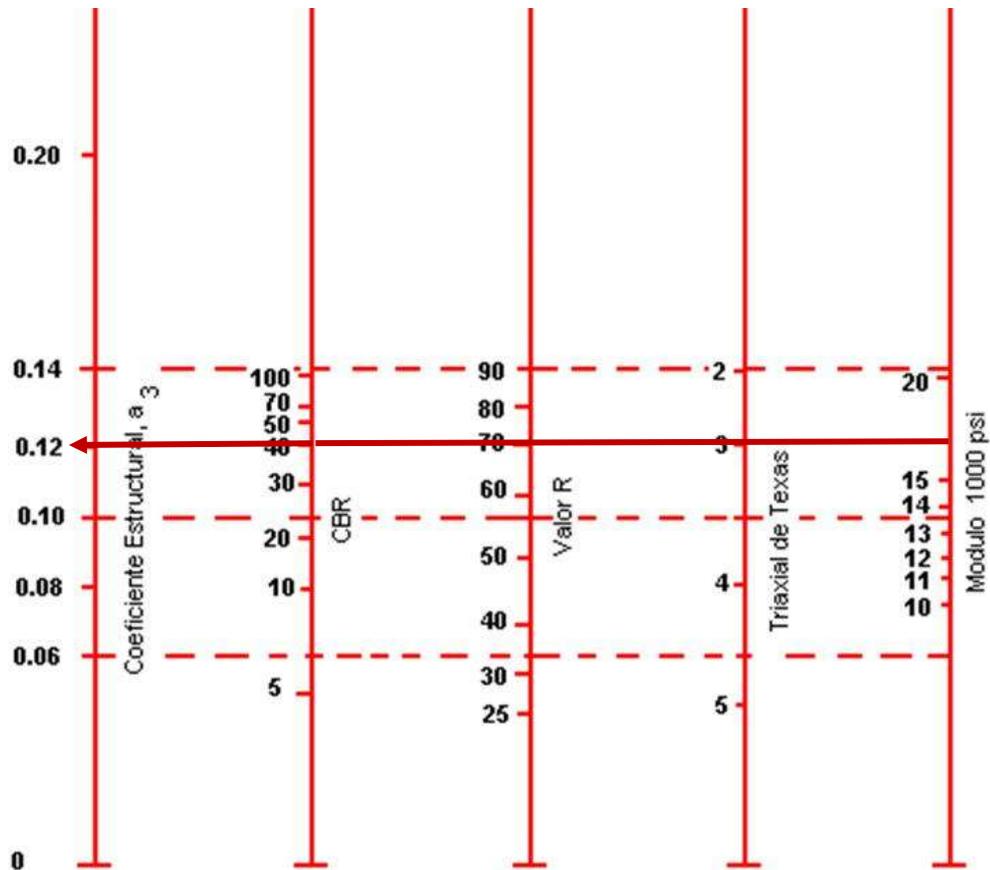


Figura 88. Abaco para determinar el coeficiente estructural para la capa de la subbase granular (a_3)

Fuente: recuperado de Método AASHTO-1993

J. Coeficientes de drenaje

De la figura 23, se adoptó un coeficiente de drenaje de la base (m_2) de 1.0 y un coeficiente de drenaje de la subbase (m_3) de 1.0..

| Calidad del drenaje | Porcentaje de tiempo en que la nueva estructura de pavimentos está expuesta a niveles de humedad cercanos a la saturación | | | |
|---------------------|---|-----------|-----------|-------------|
| | Menos de 1% | 1 - 5% | 5 - 25% | Más del 25% |
| Excelente | 1.40-1.35 | 1.35-1.30 | 1.30-1.20 | 1.2 |
| Buena | 1.35-1.25 | 1.25-1.15 | 1.15-1.00 | 1 |
| Regular | 1.25-1.15 | 1.15-1.05 | 1.00-0.80 | 0.8 |
| Pobre | 1.15-1.05 | 1.05-0.80 | 0.80-0.60 | 0.6 |
| Deficiente | 1.05-0.95 | 0.95-0.75 | 0.75-0.40 | 0.4 |

Figura 23. Coeficientes de drenaje (mi) recomendados

K. Determinación de espesores

Después de obtener los parámetros de diseño, se procederá a diseñar a determinar el numero estructural requerido SN, utilizando la ecuación de diseño

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R \times S_o + 9.36 \times \log_{10}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \times \log_{10}(M_R) - 8.07$$

- **C2**

Mediante un proceso iterativo sobre la ecuación se obtiene el valor SN= 3.666. Posteriormente se determina el número estructural sobre la carpeta asfáltica, SN_1 , se realiza la misma interacción con los mismos parámetros diseños, pero se cambia el módulo de resiliencia de la subrasante por el de la base $M_R = 28,300$. Se obtiene $SN_1 = 2.214$

Hallando el espesor de la carpeta asfáltica D_1

$$D_1 = \frac{SN_1}{a_1} = \frac{2.214}{0.432} = 5.125 \text{ pulg}$$

El espesor mínimo según AASHTO, Guía para diseño de estructura de pavimentos, considera 3 pulgadas, optimizando el diseño tomaremos como espesor 3 pulgadas.

Entonces se halla SN^*_1

$$SN^*_1 = D_1 * a_1 = 3 * 0.432 = 1.296$$

Prosiguiendo se determina el número estructural sobre la base, SN_2 , se realiza la misma interacción con los mismos parámetros diseños, pero se cambia el módulo de resiliencia de la subrasante por el de la sub base $M_R = 17,200$. Se obtiene $SN_2 = 2.7$

Hallando el espesor de la carpeta asfáltica D_2

$$D_2 = \frac{SN_2 - SN^*_1}{a_2 * m_2} = \frac{2.7 - 1.296}{0.132} = 10.63 \text{ pulg}$$

El espesor mínimo según el AASHTO, Guía para diseño de estructura de pavimentos, considera 6 pulgadas, optimizando el diseño tomaremos como espesor 9 pulgadas.

Entonces se halla SN^*_2

$$SN^*_2 = D_2 * a_2 * m_2 = 9 * 0.132 * 1 = 1.188$$

Ahora hallamos el número estructural sobre la sub base, SN_3 , se realiza la misma interacción con los mismos parámetros diseños $M_R = 8,025.64$. Se obtiene $SN_3 = 3.666$

Hallando el espesor de la carpeta asfáltica D_3

$$D_3 = \frac{SN_3 - (SN^*_2 + SN^*_1)}{a_3 * m_2} = \frac{3.666 - (1.188 + 1.296)}{0.12} = 9.85 \text{ pulg}$$

El espesor para la sub base será de 10 pulgadas.

Entonces se halla SN^*_3

$$SN^*_3 = D_3 * a_3 * m_3 = 10 * 0.12 * 1 = 1.2$$

Verificamos el número estructural

$$SN < SN^*_1 + SN^*_2 + SN^*_3$$

$$3.666 < 1.296 + 1.188 + 1.2$$

$$3.666 < 3.684$$

Entonces el espesor de la estructura del pavimento flexible tendrá un espesor de 22 pulgadas, constituido por la carpeta asfáltica de 3 pulgadas, la base de 9 pulgadas y la sub base de 10 pulgadas.

- **C2 + 15% de escoria**

Mediante la interacción en la ecuación obtenemos $SN = 2.953$. Cambiamos el módulo de resiliencia de la subrasante por el de la base $M_R = 28,300$ y obtenemos $SN_1 = 2.214$

Hallando el espesor de la carpeta asfáltica D_1

$$D_1 = \frac{SN_1}{a_1} = \frac{2.214}{0.432} = 5.125 \text{ pulg}$$

El espesor mínimo según AASHTO, Guía para diseño de estructura de pavimentos, considera 3 pulgadas, optimizando el diseño tomaremos como espesor 3 pulgadas.

Entonces se halla SN^*_1

$$SN^*_1 = D_1 * a_1 = 3 * 0.432 = 1.296$$

Prosiguiendo se determina el número estructural sobre la base, SN_2 , se realiza la misma interacción con los mismos parámetros diseños, pero se cambia el módulo de resiliencia de la subrasante por el de la sub base $M_R = 17,200$. Se obtiene $SN_2 = 2.7$

Hallando el espesor de la carpeta asfáltica D_2

$$D_2 = \frac{SN_2 - SN^*_1}{a_2 * m_2} = \frac{2.7 - 1.296}{0.132} = 10.636 \text{ pulg}$$

El espesor mínimo según el AASHTO, Guía para diseño de estructura de pavimentos, considera 6 pulgadas, optimizando el diseño tomaremos como espesor 6.5 pulgadas.

Entonces se halla SN^*_2

$$SN^*_2 = D_2 * a_2 * m_2 = 6.5 * 0.132 * 1 = 0.858$$

Ahora hallamos el número estructural sobre la sub base, SN_3 , se realiza la misma interacción con los mismos parámetros diseños $M_R = 13,756.89$. Se obtiene $SN_3 = 2.953$

Hallando el espesor de la carpeta asfáltica D_3

$$D_3 = \frac{SN_3 - (SN^*_2 + SN^*_1)}{a_3 * m_3} = \frac{2.953 - (0.858 + 1.296)}{0.12} = 6.659 \text{ pulg}$$

El espesor para la sub base será de 7 pulgadas.

Entonces se halla SN^*_3

$$SN^*_3 = D_3 * a_3 * m_3 = 7 * 0.12 * 1 = 0.84$$

Verificamos el número estructural

$$SN < SN^*_1 + SN^*_2 + SN^*_3$$

$$2.953 < 1.296 + 0.858 + 0.84$$

$$2.952 < 2.994$$

Entonces el espesor de la estructura del pavimento flexible tendrá un espesor de 16.5 pulgadas, constituido por la carpeta asfáltica de 3 pulgadas, la base de 6.5 pulgadas y la sub base de 7 pulgadas.

- **C2 + 25% de escoria**

Mediante la interacción en la ecuación obtenemos $SN = 2.849$. Cambiamos el módulo de resiliencia de la subrasante por el de la base $M_R = 28,300$ y obtenemos $SN_1 = 2.214$

Hallando el espesor de la carpeta asfáltica D_1

$$D_1 = \frac{SN_1}{a_1} = \frac{2.214}{0.432} = 5.125 \text{ pulg}$$

El espesor mínimo según AASHTO, Guía para diseño de estructura de pavimentos, considera 3 pulgadas, optimizando el diseño tomaremos como espesor 3 pulgadas.

Entonces se halla SN^*_1

$$SN^*_1 = D_1 * a_1 = 3 * 0.432 = 1.296$$

Prosiguiendo se determina el número estructural sobre la base, SN_2 , se realiza la misma interacción con los mismos parámetros diseños, pero se cambia el módulo de resiliencia de la subrasante por el de la sub base $M_R = 17,200$. Se obtiene $SN_2 = 2.7$

Hallando el espesor de la carpeta asfáltica D_2

$$D_2 = \frac{SN_2 - SN^*_1}{a_2 * m_2} = \frac{2.7 - 1.296}{0.132} = 10.636 \text{ pulg}$$

El espesor mínimo según el AASHTO, Guía para diseño de estructura de pavimentos, considera 6 pulgadas, optimizando el diseño tomaremos como espesor 6 pulgadas.

Entonces se halla SN^*_2

$$SN^*_2 = D_2 * a_2 * m_2 = 6 * 0.132 * 1 = 0.792$$

Ahora hallamos el número estructural sobre la sub base, SN_3 , se realiza la misma interacción con los mismos parámetros diseños $M_R = 15,036.88$. Se obtiene $SN_3 = 2.849$

Hallando el espesor de la carpeta asfáltica D_3

$$D_3 = \frac{SN_3 - (SN_2^* + SN_1^*)}{a_3 * m_2} = \frac{2.849 - (0.792 + 1.296)}{0.12} = 6.34 \text{ pulg}$$

El espesor para la sub base será de 6.5 pulgadas.

Entonces se halla SN_{31}^*

$$SN_3^* = D_3 * a_3 * m_3 = 6.5 * 0.12 * 1 = 0.78$$

Verificamos el número estructural

$$SN < SN_1^* + SN_2^* + SN_3^*$$

$$2.849 < 1.296 + 0.792 + 0.78$$

$$2.849 < 2.868$$

Entonces el espesor de la estructura del pavimento flexible tendrá un espesor de 15.5 pulgadas, constituido por la carpeta asfáltica de 3 pulgadas, la base de 6 pulgadas y la sub base de 6.5 pulgadas.

- **C2 + 40% de escoria**

Mediante la interacción en la ecuación obtenemos $SN = 2.69$. Cambiamos el módulo de resiliencia de la subrasante por el de la base $M_R = 28,300$ y obtenemos $SN_1 = 2.214$

Hallando el espesor de la carpeta asfáltica D_1

$$D_1 = \frac{SN_1}{a_1} = \frac{2.214}{0.432} = 5.125 \text{ pulg}$$

El espesor mínimo según AASHTO, Guía para diseño de estructura de pavimentos, considera 3 pulgadas, optimizando el diseño tomaremos como espesor 3 pulgadas.

Entonces se halla SN^*_1

$$SN^*_1 = D_1 * a_1 = 3 * 0.432 = 1.296$$

Prosiguiendo se determina el número estructural sobre la base, SN_2 , se realiza la misma interacción con los mismos parámetros diseños, pero se cambia el módulo de resiliencia de la subrasante por el de la sub base $M_R = 17,200$. Se obtiene $SN_2 = 2.7$

Hallando el espesor de la carpeta asfáltica D_2

$$D_2 = \frac{SN_2 - SN^*_1}{a_2 * m_2} = \frac{2.7 - 1.296}{0.132} = 10.636 \text{ pulg}$$

El espesor mínimo según el AASHTO, Guía para diseño de estructura de pavimentos, considera 6 pulgadas, optimizando el diseño tomaremos como espesor 6 pulgadas.

Entonces se halla SN^*_2

$$SN^*_2 = D_2 * a_2 * m_2 = 6 * 0.132 * 1 = 0.792$$

Ahora hallamos el número estructural sobre la sub base, SN_3 , se realiza la misma interacción con los mismos parámetros diseños $M_R = 17,357.76$. Se obtiene $SN_3 = 2.690$

Hallando el espesor de la carpeta asfáltica D_3

$$D_3 = \frac{SN_3 - (SN^*_2 + SN^*_1)}{a_3 * m_2} = \frac{2.69 - (0.792 + 1.296)}{0.12} = 5.017 \text{ pulg}$$

El espesor para la sub base será de 5.5 pulgadas.

Entonces se halla SN^*_3

$$SN^*_3 = D_3 * a_3 * m_3 = 5.5 * 0.12 * 1 = 0.66$$

Verificamos el número estructural

$$SN < SN^*_1 + SN^*_2 + SN^*_3$$

$$2.69 < 1.296 + 0.792 + 0.66$$

$$2.69 < 2.748$$

Entonces el espesor de la estructura del pavimento flexible tendrá un espesor de 14.5 pulgadas, constituido por la carpeta asfáltica de 3 pulgadas, la base de 6 pulgadas y la sub base de 5.5 pulgadas.

2. Diseño de Pavimento Rígido-Método AASHTO

A. Periodo de diseño

De la tabla 31, se adoptara un periodo de diseño de 20 años.

Tabla 36.

Periodo de Análisis y Diseño

| Tipo de Carretera | Periodo de Diseño (Años) |
|---|--------------------------|
| Urbana de tránsito elevado. | 30 – 50 |
| Interurbana de tránsito elevado | 20 – 50 |
| Pavimentada de baja intensidad de tránsito | 15 – 25 |
| De baja intensidad de tránsito, pavimentación con grava | 10 – 20 |

Fuente: AASHTO, Guía para diseño de estructuras de pavimentos 1993

B. Cálculo del número de ESALs

- Cálculo de ingreso y salida de vehículos al mercado La Perla

Tabla 37.

Índice medio diario semanal

| | VEHICULOS | IMDs |
|-----------------------------------|-----------|------------|
| VEHICULOS DE CARGA LIVIANA | MOTOTAXI | 2938.57143 |
| | MOTOCARGA | 2021.71429 |
| | AUTO | 5969.14286 |
| | STATION | 1325.14286 |
| | WAGON | |
| | PICK UP | 346.571429 |

| | | | | |
|---------------|---------------------|-------|------------|--------------------------------|
| <i>propia</i> | CAMION | PANEL | 10.8571429 | <i>Fuente: Elaboración</i> |
| | | 2 E | 22.2857143 | |
| | | 3 E | 10.5714286 | |
| | | 4 E | 12.2857143 | |
| | SEMI TRAYLER | T2S1 | 14 | |
| | | T2S2 | 15.7142857 | |
| | | 2S3 | 6 | |

- Determinación de factor de corrección estacional por unidad de peaje y mes de estudio

| Factor de correccion estacional | | | |
|---------------------------------|------------|--------|--------|
| veh. Livianos | fe: | 1.0827 | agosto |
| veh. Pesados | fe: | 1.0182 | agosto |

Figura 89. Factor de corrección estacional

- Cálculo de IMDa: producto de del IMDs por su factor de corrección estacional.

| | VEHICULOS | IMDa |
|-----------------------------------|------------------|-------------|
| VEHICULOS DE CARGA LIVIANA | MOTOTAXI | 3182 |
| | MOTOCARGA | 2189 |
| | AUTO | 6463 |
| | STATION | 1435 |
| | WAGON | 375 |
| | PICK UP | 12 |
| | PANEL | 23 |
| CAMION | 2 E | 11 |
| | 3 E | 13 |
| | 4 E | 14 |
| SEMI TRAYLER | T2S1 | 16 |
| | T2S2 | 6 |
| | 2S3 | |

Tabla 38. Índice Medio Diario Anual

- Cálculo de tasas de crecimiento y proyección

$$T_n = T_o (1 + r)^{n-1}$$

Figura 90. Tránsito proyectado al año "n" en veh/ día

Fuente: recuperado de Manual de carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y pavimentos, p.75, Lima Perú

Donde:

T_n= Tránsito proyectado al año “n” en veh/día

T_o= Tránsito actual (año base 0) en veh/día

n = número de años del periodo de diseño

r = Tasa anual de crecimiento del tránsito

| Tasa de Crecimiento de Vehículos Ligeros | |
|--|-------|
| | TC |
| Amazonas | 0.62% |
| Ancash | 0.59% |
| Apurímac | 0.59% |
| Arequipa. | 1.07% |
| Ayacucho | 1.18% |
| Cajamarca. | 0.57% |
| Callao | 1.56% |
| Cusco. | 0.75% |
| Huancavelica. | 0.83% |
| Huánuco. | 0.91% |
| Ica. | 1.15% |
| Junín. | 0.77% |
| La Libertad | 1.26% |
| Lambayeque. | 0.97% |
| Lima Provincia | 1.45% |
| Lima. | 1.45% |
| Loreto. | 1.30% |
| Madre de Dios | 2.58% |
| Moquegua | 1.08% |
| Pasco. | 0.84% |
| Piura. | 0.87% |
| Puno. | 0.92% |
| San Martín. | 1.49% |
| Tacna. | 1.50% |
| Tumbes. | 1.58% |
| Ucayali | 1.51% |

Figura 91. Tasa de crecimiento de vehículos ligeros

| Tasa de Crecimiento de Vehículos Pesados | |
|--|-------|
| | PBI |
| Amazonas | 3.42% |
| Ancash | 1.05% |
| Apurímac | 6.65% |
| Arequipa. | 3.37% |
| Ayacucho | 3.60% |
| Cajamarca. | 1.29% |
| Cusco. | 4.43% |
| Huancavelica. | 2.33% |
| Huánuco. | 3.85% |
| Ica. | 3.54% |
| Junín. | 3.90% |
| La Libertad | 2.83% |
| Lambayeque. | 3.45% |
| Callao | 3.41% |
| Lima Provincia | 3.07% |
| Lima. | 3.69% |
| Loreto. | 1.29% |
| Madre de Dios | 1.98% |
| Moquegua | 0.27% |
| Pasco. | 0.36% |
| Piura. | 3.23% |
| Puno. | 3.21% |
| San Martín. | 3.84% |
| Tacna. | 2.88% |
| Tumbes. | 2.60% |
| Ucayali | 2.77% |

Figura 92. Tasa de crecimiento de vehículos pesados

Tabla 39.

Población futura de vehículos

| VEHICULOS | 2024 |
|------------------|------------|
| MOTOTAXI | 3219.65837 |
| MOTOCARGA | 2214.9064 |
| AUTO | 6539.48838 |
| STATION | 1451.98295 |
| WAGON | |
| PICK UP | 379.438054 |
| PANEL | 12.1420177 |
| 2 E | 23.4855358 |

| | |
|-------------|------------|
| 3 E | 11.2322128 |
| 4 E | 13.2744333 |
| T2S1 | 14.2955435 |
| T2S2 | 16 |
| 2S3 | 6.1266615 |

Tabla 40.

Población futura de vehículos

| TIPO DE VEHICULO | IMDA | TIPO | NUMERO | CARGA | *f P. | f IMDA | |
|--------------------|-----------|-----------|---------|--------|-------------|-------------|-----------|
| | 2024 | EJE | LLANTAS | EJE Tn | FLEXIBLE | FLEXIBLE | |
| VEHICULOS LIVIANOS | 3219.6584 | | 1 | 0.3 | 3.13377E-06 | 0.0100897 | |
| | | Mototaxi | 2 | 0.6 | 5.37391E-05 | 0.1730214 | |
| | 2214.9064 | | 1 | 0.3 | 3.13377E-06 | 0.006941 | |
| | | Motocarga | 2 | 1 | 0.000436385 | 0.966552 | |
| | 6539.4884 | SIMPLE | 2 | 1 | 0.000436385 | 2.853735 | |
| | | | SIMPLE | 2 | 1 | 0.000436385 | 2.853735 |
| | 1451.983 | Station | SIMPLE | 2 | 1 | 0.000436385 | 0.6336237 |
| | | wagon | SIMPLE | 2 | 1 | 0.000436385 | 0.6336237 |
| | 379.43805 | Pick Up | SIMPLE | 2 | 1 | 0.000436385 | 0.1655811 |
| | | | SIMPLE | 2 | 1 | 0.000436385 | 0.1655811 |
| | 12.142018 | Panel | SIMPLE | 2 | 1 | 0.000436385 | 0.0052986 |
| | | | SIMPLE | 2 | 1 | 0.000436385 | 0.0052986 |
| | CAMION | 23.485536 | SIMPLE | 2 | 7 | 1.272834178 | 29.893193 |
| | | | SIMPLE | 4 | 11 | 3.334826273 | 78.320182 |
| 11.232213 | | SIMPLE | 2 | 7 | 1.272834178 | 14.296744 | |
| | | TANDEM | 8 | 18 | 3.458004411 | 38.841041 | |
| C4 | 13.274433 | SIMPLE | 2 | 7 | 1.272834178 | 16.896152 | |

| | | | | | | | |
|--|------|-----------|--------|----|----|--------------|------------------|
| | | | TRIDEM | 10 | 23 | 3.685352143 | 48.920961 |
| | | 14.295544 | SIMPLE | 2 | 7 | 1.272834178 | 18.195856 |
| | T2S1 | | SIMPLE | 4 | 11 | 3.334826273 | 47.673154 |
| | | | SIMPLE | 4 | 11 | 3.334826273 | 47.673154 |
| | | 16 | SIMPLE | 2 | 7 | 1.272834178 | 20.365347 |
| | T2S2 | | SIMPLE | 4 | 11 | 3.334826273 | 53.35722 |
| | | | TANDEM | 8 | 18 | 3.458004411 | 55.328071 |
| | | 6.1266615 | SIMPLE | 2 | 7 | 1.272834178 | 7.7982242 |
| | T2S3 | | SIMPLE | 4 | 11 | 3.334826273 | 20.431352 |
| | | | TRIDEM | 12 | 25 | 4.164931279 | 25.517124 |
| | | | | | | TOTAL | 531.98086 |

Carga por eje en toneladas (pesos extraídos del Reglamento Nacional de vehículos p. 78)

Cuadro 6.4
Relación de Cargas por Eje para determinar Ejes Equivalentes (EE)
Para Pavimentos Rígidos

| Tipo de Eje | Eje Equivalente (EE _{2tn}) |
|--|---|
| Eje Simple de ruedas simples (EE _{S1}) | $EE_{S1} = [P / 6.6]^{4.1}$ |
| Eje Simple de ruedas dobles (EE _{S2}) | $EE_{S2} = [P / 8.2]^{4.1}$ |
| Eje Tandem (1 eje ruedas dobles + 1 eje rueda simple) (EE _{TA1}) | $EE_{TA1} = [P / 13.0]^{4.1}$ |
| Eje Tandem (2 ejes de ruedas dobles) (EE _{TA2}) | $EE_{TA2} = [P / 13.3]^{4.1}$ |
| Ejes Tridem (2 ejes ruedas dobles + 1 eje rueda simple) (EE _{TR1}) | $EE_{TR1} = [P / 16.6]^{4.0}$ |
| Ejes Tridem (3 ejes de ruedas dobles) (EE _{TR2}) | $EE_{TR2} = [P / 17.5]^{4.0}$ |
| P = peso real por eje en toneladas | |

Fuente: Elaboración Propia, en base a correlaciones con los valores de las Tablas del apéndice D de la Guía AASHTO'93

$$f \text{ IMDa flexible} = \text{ejes equivalentes} \times \text{IMDa}$$

Determinación de factor ponderado para carril de diseño (fc*fd)

Cuadro 6.1
Factores de Distribución Direccional y de Carril para determinar el Tránsito en el Carril de Diseño

| Número de calzadas | Número de sentidos | Número de carriles por sentido | Factor Direccional (Fd) | Factor Carril (Fc) | Factor Ponderado Fd x Fc para carril de diseño |
|---|--------------------|--------------------------------|-------------------------|--------------------|--|
| 1 calzada (para IMDa total de la calzada) | 1 sentido | 1 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| | 1 sentido | 2 | 1.00 | 0.80 | 0.80 |
| | 1 sentido | 3 | 1.00 | 0.60 | 0.60 |
| | 1 sentido | 4 | 1.00 | 0.50 | 0.50 |
| | 2 sentidos | 1 | 0.50 | 1.00 | 0.50 |
| | 2 sentidos | 2 | 0.50 | 0.80 | 0.40 |
| 2 calzadas con separador central (para IMDa total de las dos calzadas) | 2 sentidos | 1 | 0.50 | 1.00 | 0.50 |
| | 2 sentidos | 2 | 0.50 | 0.80 | 0.40 |
| | 2 sentidos | 3 | 0.50 | 0.60 | 0.30 |
| | 2 sentidos | 4 | 0.50 | 0.50 | 0.25 |

Fuente: Elaboración Propia, en base a datos de la Guía AASHTO'93

Figura 93. Factores de distribución direccional y de carril

Fuente: recuperado de Manual de carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y pavimentos, p.75, Lima Perú

Reemplazar valores en la siguiente fórmula

| Pavimento Rígido | | |
|---|-------------------------------|--|
| Tasa anual de crecimiento. Vehículos pesados | r: | 1.05% |
| Tiempo de vida útil de pavimento (años) | n: | 20 |
| Factor Fca vehículos pesados | $Fca = \frac{(1+r)^n - 1}{r}$ | 22.126 |
| Nº de calzadas, sentidos y carriles por sentido | | 1 calzada, 2 sentidos, 1 carril por sentido |
| Factor direccional * Factor carril (Fd*Fc) | Fc*Fd | 0.5 |
| Número de ejes equivalentes (ESAL) | | |
| $\#EE = 365 * (\sum f.IMDa) * Fd * Fc * Fca$ | ESAL | 2148183.337 |

Mediante la ecuación $W18 = ESALs \times DD \times LD$, se obtuvo el valor de los ESALs en el carril de diseño ($W18$) que es 2,148,183.34.

C. Tipo de Tráfico

De la Figura 24 teniendo en cuenta el ESALs calculado, el tipo de tráfico es T_{p6} .

| | |
|-----------|------------------------------------|
| T_{P5} | > 1'000,000 EE ≤ 1'500,000 EE |
| T_{P6} | > 1'500,000 EE ≤ 3'000,000 EE |
| T_{P7} | > 3'000,000 EE ≤ 5'000,000 EE |
| T_{P8} | > 5'000,000 EE ≤ 7'500,000 EE |
| T_{P9} | > 7'500,000 EE ≤ 10'000,000 EE |
| T_{P10} | > 10'000,000 EE ≤ 12'500,000 EE |
| T_{P11} | > 12'500,000 EE ≤ 15'000,000 EE |
| T_{P12} | > 15'000,000 EE ≤ 20'000,000 EE |
| T_{P13} | > 20'000,000 EE ≤ 25'000,000 EE |
| T_{P14} | > 25'000,000 EE ≤ 30'000,000 EE |

Figura 24. Número de repeticiones acumuladas de ejes equivalentes de 8.2t - pavimentos rígidos

D. Índice de Confianza

De la Figura 26 tomando el tipo de tráfico Tp6, se tomó la confiabilidad de 85% .

| | | | | | |
|------------------|------------------|-------------|------------|-----|--------|
| Resto de Caminos | T _{P5} | 1,000,001 | 1,500,000 | 85% | -1.036 |
| | T _{P6} | 1,500,001 | 3,000,000 | 85% | -1.036 |
| | T _{P7} | 3,000,001 | 5,000,000 | 85% | -1.036 |
| | T _{P8} | 5,000,001 | 7,500,000 | 90% | -1.282 |
| | T _{P9} | 7,500,001 | 10'000,000 | 90% | -1.282 |
| | T _{P10} | 10'000,001 | 12'500,000 | 90% | -1.282 |
| | T _{P11} | 12'500,001 | 15'000,000 | 90% | -1.282 |
| | T _{P12} | 15'000,001 | 20'000,000 | 90% | -1.282 |
| | T _{P13} | 20'000,001 | 25'000,000 | 90% | -1.282 |
| | T _{P14} | 25'000,001 | 30'000,000 | 90% | -1.282 |
| | T _{P15} | >30'000,000 | | 95% | -1.645 |

Figura 26. Valores recomendados de Nivel de confiabilidad (R) y Desviación estándar Normal (Zr)

E. Desviación Estándar Normal

De la Figura 26 tomando el tipo de tráfico Tp6 , se tomó una desviación de -1.036.

| | | | | | |
|------------------|------------------|-------------|------------|-----|--------|
| Resto de Caminos | T _{P5} | 1,000,001 | 1,500,000 | 85% | -1.036 |
| | T _{P6} | 1,500,001 | 3,000,000 | 85% | -1.036 |
| | T _{P7} | 3,000,001 | 5,000,000 | 85% | -1.036 |
| | T _{P8} | 5,000,001 | 7,500,000 | 90% | -1.282 |
| | T _{P9} | 7,500,001 | 10'000,000 | 90% | -1.282 |
| | T _{P10} | 10'000,001 | 12'500,000 | 90% | -1.282 |
| | T _{P11} | 12'500,001 | 15'000,000 | 90% | -1.282 |
| | T _{P12} | 15'000,001 | 20'000,000 | 90% | -1.282 |
| | T _{P13} | 20'000,001 | 25'000,000 | 90% | -1.282 |
| | T _{P14} | 25'000,001 | 30'000,000 | 90% | -1.282 |
| | T _{P15} | >30'000,000 | | 95% | -1.645 |

Figura 26. Valores recomendados de Nivel de confiabilidad (R) y Desviación estándar Normal (Zr)

F. Error de Combinación Estándar

De la Tabla 11, se tomó el valor de 0.35 porque la Guía AASHTO recomienda adoptar para los pavimentos flexibles.

Tabla 11.

Error de combinación estándar

| | | | |
|-------------|---|-------------|----------------------|
| 0.30 | - | 0.40 | Pavimentos rígidos |
| 0.40 | - | 0.50 | Pavimentos flexibles |

G. Criterios de adopción de niveles de serviciabilidad

Se adoptó el valor de 4.3 para la serviciabilidad inicial (*po*) y el valor de 2.5 para la serviciabilidad final o terminal (*pt*), según la figura 19; lo que implica que la pérdida de serviciabilidad (ΔPSI) es 1.8.

| | | | | | | |
|-------------------------|------------------|-------------|------------|------|------|------|
| Resto de Caminos | T _{P5} | 1,000,001 | 1,500,000 | 4.30 | 2.50 | 1.80 |
| | T _{P6} | 1,500,001 | 3,000,000 | 4.30 | 2.50 | 1.80 |
| | T _{P7} | 3,000,001 | 5,000,000 | 4.30 | 2.50 | 1.80 |
| | T _{P8} | 5,000,001 | 7,500,000 | 4.30 | 2.50 | 1.80 |
| | T _{P9} | 7,500,001 | 10'000,000 | 4.30 | 2.50 | 1.80 |
| | T _{P10} | 10'000,001 | 12'500,000 | 4.30 | 2.50 | 1.80 |
| | T _{P11} | 12'500,001 | 15'000,000 | 4.30 | 2.50 | 1.80 |
| | T _{P12} | 15'000,001 | 20'000,000 | 4.50 | 3.00 | 1.50 |
| | T _{P13} | 20'000,001 | 25'000,000 | 4.50 | 3.00 | 1.50 |
| | T _{P14} | 25'000,001 | 30'000,000 | 4.50 | 3.00 | 1.50 |
| | T _{P15} | >30'000,000 | | 4.50 | 3.00 | 1.50 |

Figura 25. Diferencial de serviciabilidad según rango de tráfico

H. Módulo de Elasticidad del Concreto

Para la resistencia del concreto tomaremos el valor mínimo que nos recomienda el Manual de carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y pavimentos que es $f'c=280$ kg/cm²= 3,983 psi. Utilizamos la ecuación de la elasticidad del concreto donde remplazaremos la resistencia del concreto en psi.

$$EC = 57000x f'c^{0.5}$$

$$EC = 57000x 3983^{0.5}$$

$$EC = 3,597,112.80 \text{ psi}$$

I. Módulo de Rotura a Flexo Tracción

Utilizando la siguiente la fórmula:

$$S'C = 7.5 a 12 x f'c^{0.5}$$

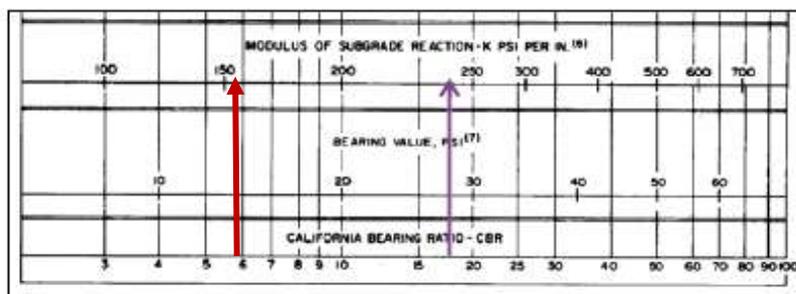
$$S'C = 9.75 x 3983^{0.5}$$

$$S'C = 615 \text{ psi}$$

J. Módulo Reacción de la Subrasante

Utilizando el CBR de las distintas combinaciones en el cuadro de Porter se obtendrá el módulo de la subrasante

- C2=157 pci

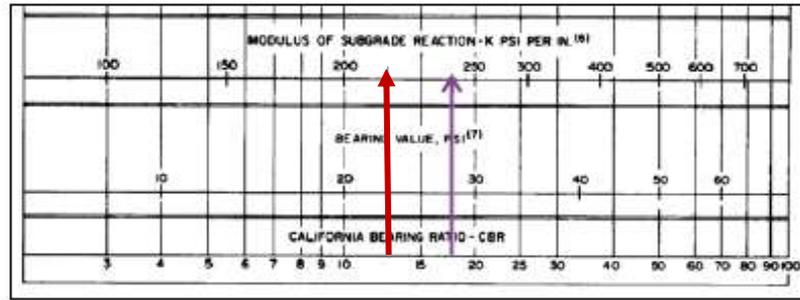


Módulo K (pci) en función de CBR(%) cuadro de Porter, para 17% de CBR se tiene un k=236 pci

Figura 94. Interrelaciones aproximadas entre clasificaciones y valores de soporte

Fuente: recuperado de *Cimentaciones para Pavimentos Flexibles*

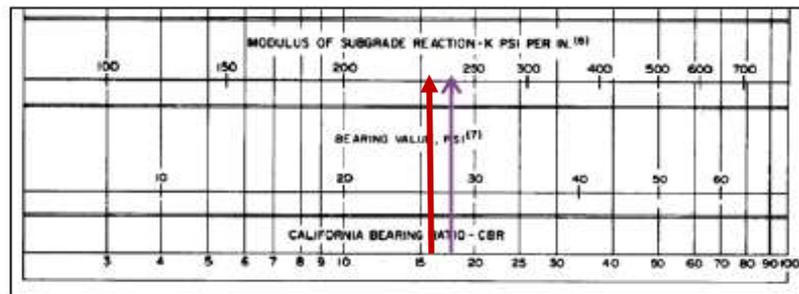
- C2 + 15% de escoria=219.4 pci



Módulo K (pci) en función de CBR(%) cuadro de Porter, para 17% de CBR se tiene un k=236 pci

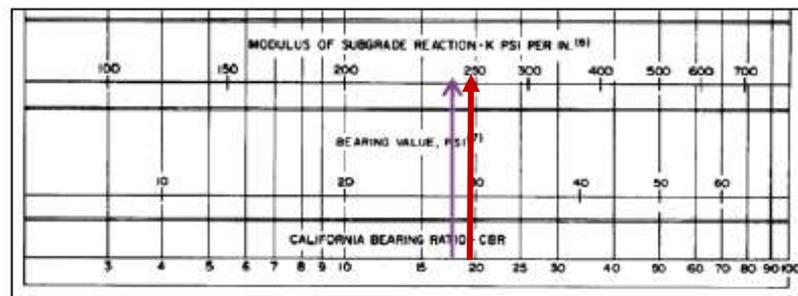
Figura 95. Interrelaciones aproximadas entre clasificaciones y valores de soporte

- C2 + 25% de escoria=229.75 pci



Módulo K (pci) en función de CBR(%) cuadro de Porter, para 17% de CBR se tiene un k=236 pci

- C2 + 40% de escoria=277.8 pci



Módulo K (pci) en función de CBR(%) cuadro de Porter, para 17% de CBR se tiene un k=236 pci

Figura 97. Interrelaciones aproximadas entre clasificaciones y valores de soporte

K. Módulo Reacción de la Subbase

Utilizando la siguiente tabla, se procederá a interpolar tomando en cuenta el módulo de la reacción de la subrasante y el espesor de la sub base la cual tomaremos 6 pulgadas ya que es el mínimo dado por el Manual de carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y pavimentos.

Tabla 41.
Efecto de la subbase no tratadas sobre valores K

| K Subrasante (pci) | K Sub-base (pci) | | | |
|-------------------------------|-------------------------|-------|-------|--------|
| | 4 in. | 6 in. | 9 in. | 12 in. |
| 50 | 65 | 75 | 85 | 110 |
| 100 | 130 | 140 | 160 | 190 |
| 200 | 220 | 230 | 270 | 320 |
| 300 | 320 | 330 | 370 | 430 |

Fuente: *Guía para el Diseño y la Construcción de Pavimentos Rígidos*

Se obtuvieron los siguientes resultados C-2=188.86 pci, C-2+15% de Escoria=245.16 pci , C-2+25% de Escoria=256.05 pci y C-2+40% de Escoria=277.16 psi.

L. Coeficiente de Drenaje

Del *Manual de carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y pavimentos, p.270, Lima Perú*, se adoptó un coeficiente de drenaje de 1

Tabla 42.

Valores de coeficiente de drenaje para pavimento rígido

| Calidad del Drenaje | % del tiempo que la estructura del pavimento está expuesta a niveles de humedad próximas a la saturación | | | |
|---------------------|--|-----------|-----------|-----------|
| | <1% | 1-5% | 5-25% | >25% |
| | Excelente | 1.25-1.20 | 1.20-1.15 | 1.15-1.10 |
| Bueno | 1.20-1.15 | 1.15-1.10 | 1.10-1.00 | 1.00 |
| Aceptable | 1.15-1.10 | 1.10-1.00 | 1.00-0.90 | 0.90 |
| Pobre | 1.10-1.00 | 1.00-0.90 | 0.90-0.80 | 0.80 |
| Muy pobre | 1.00-0.90 | 0.90-0.80 | 0.80-0.70 | 0.70 |

M. Coeficiente de Transmisión de carga

De la Figura 30, obtenemos el valor 2.8.

| TIPO DE BERMA | J | | | |
|---------------|----------------------|--------------------|---------------------|--------------------|
| | GRANULAR O ASFÁLTICA | | CONCRETO HIDRÁULICO | |
| VALORES J | SI (con pasadores) | NO (con pasadores) | SI (con pasadores) | NO (con pasadores) |
| | 3.2 | 3.8 – 4.4 | 2.8 | 3.8 |

Figura 98. Valores de coeficiente de transmisión de carga J

N. Determinación de espesores

Después de obtener todos los parámetros, reemplazamos en la siguiente ecuación para hallar el espesor de la losa de concreto

$$\log(W_{18}) = Z_R \times S_o + 7.35 \log(D + 1) - 0.06 + \frac{\log\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{1 + \frac{1.624 \times 10^7}{(D + 1)^{8.46}}} + (4.22 - 0.32p_t) \log\left[\frac{S'_c \times C_d (D^{0.75} - 1.132)}{215.63 \times J \left[D^{0.75} - \frac{18.42}{(E_c/k)^{0.25}}\right]}\right]$$

- C2

Remplazando los parámetros encontrados para la C2 e iterando se obtuvo un espesor de 6.991, por lo que optimizando tendremos un espesor de 7 pulgadas para la losa de concreto, y un espesor de 6 pulgadas para la base granular sumando un total de 13 pulgadas para la estructura del pavimento rígido.

- C2+15% de Escoria

Remplazando los parámetros encontrados para la C2 + 15% de Escoria e iterando se obtuvo un espesor de 6.810, por lo que optimizando tendremos un espesor de 6.8 pulgadas para la losa de concreto, y un espesor de 6 pulgadas para la base granular, sumando un total de 12.8 pulgadas para la estructura del pavimento rígido.

- C2+25% de Escoria

Remplazando los parámetros encontrados para la C2 + 15% de Escoria e iterando se obtuvo un espesor de 6.774, por lo que optimizando tendremos un espesor de 6.8 pulgadas para la losa de concreto, y un espesor de 6 pulgadas para la base granular, sumando un total de 12.8 pulgadas para la estructura del pavimento rígido.

- C2+40% de Escoria

Remplazando los parámetros encontrados para la C2 + 40% de Escoria e iterando se obtuvo un espesor de 6.71, por lo que optimizando tendremos un espesor de 6.75 pulgadas para la losa de concreto, y un espesor de 6 pulgadas para la base granular, sumando un total de 12.75 pulgadas para la estructura del pavimento rígido.

7.5. Ensayos de laboratorio

Proyecto : DISEÑO ÓPTIMO DEL PAVIMENTO UTILIZANDO ESCORIA DE HORNOS ELÉCTRICOS COMO MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE EN EL MERCADO LA PERLA-CHIMBOTE

UBICACIÓN : Mercado la Perla, Distrito: Chimbote, Provincia: Santa, Departamento: Ancash

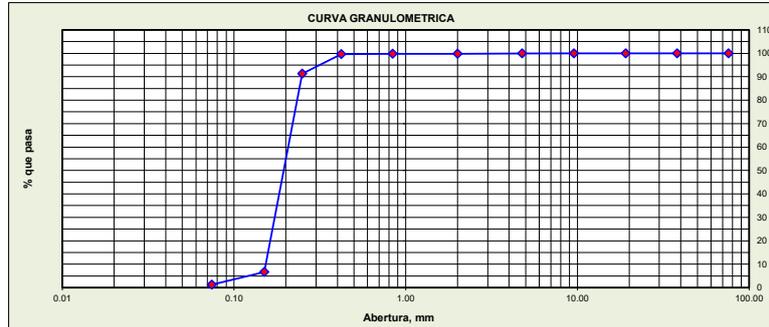
Fecha : JULIO-2021

MUESTRA : Calicata N°1-Estrato 1 de 0.00 a 1.50 m

Responsables : Tesistas

1. ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO (MTC E 107)

| Peso Total de la Muestra(gr) | 1000.00 | | |
|-------------------------------------|---------------|---------------------|--------|
| Peso Final de la Muestra(gr) | 996.31 | | |
| Mallas | Abertura [mm] | Peso Retenido [grs] | % Pasa |
| 3" | 76.000 | 0.00 | 100.00 |
| 1 1/2" | 38.100 | 0.00 | 100.00 |
| 3/4" | 19.050 | 0.00 | 100.00 |
| 3/8" | 9.525 | 0.00 | 100.00 |
| N° 4 | 4.760 | 0.81 | 99.92 |
| N° 10 | 2.000 | 0.66 | 99.85 |
| N° 20 | 0.840 | 0.73 | 99.78 |
| N° 40 | 0.420 | 1.03 | 99.68 |
| N° 60 | 0.250 | 83.30 | 91.31 |
| N° 100 | 0.150 | 843.75 | 6.63 |
| N° 200 | 0.074 | 53.80 | 1.23 |
| < N° 200 | | 12.23 | 0.00 |



2. LIMITES DE CONSISTENCIA (MTC E 110- MTC E 111)

A. LIMITE LIQUIDO (MTC E 110)

| Procedimiento | Fórmula | Tara No | | | |
|-----------------------------------|-------------|---------|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1. No de Golpes | | | | | |
| 2. Peso Tara, [gr] | | | | | |
| 3. Peso Tara + Suelo Húmedo, [gr] | | | | | |
| 4. Peso Tara + Suelo Seco, [gr] | | | | | |
| 5. Peso Agua, [gr] | (3)-(4) | | | | |
| 6. Peso Suelo Seco, [gr] | (4)-(2) | | | | |
| 7. Contenido de Humedad, [%] | (5)/(6)X100 | | | | |

NO PRESENTA

B. LIMITE PLASTICO (MTC E 111)

| Procedimiento | Fórmula | Tara No | | | |
|-----------------------------------|-------------|---------|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1. Peso Tara, [gr] | | | | | |
| 2. Peso Tara + Suelo Húmedo, [gr] | | | | | |
| 3. Peso Tara + Suelo Seco, [gr] | | | | | |
| 4. Peso Agua, [gr] | (2)-(3) | | | | |
| 5. Peso Suelo Seco, [gr] | (3)-(1) | | | | |
| 6. Contenido de Humedad, [%] | (4)/(5)X100 | | | | |

NO PLASTICO



3. CONTENIDO DE HUMEDAD (MTC - E 108)

| Procedimiento | Fórmula | Tara No | | |
|-----------------------------------|-------------|---------|--------|--------|
| | | 1 | 2 | 3 |
| 1. Peso Tara, [gr] | | 27.66 | 27.34 | 27.76 |
| 2. Peso Tara + Suelo Húmedo, [gr] | | 165.75 | 149.75 | 167.16 |
| 3. Peso Tara + Suelo Seco, [gr] | | 165.30 | 149.36 | 166.73 |
| 4. Peso Agua, [gr] | (2)-(3) | 0.45 | 0.39 | 0.43 |
| 5. Peso Suelo Seco, [gr] | (3)-(1) | 137.64 | 122.02 | 138.97 |
| 6. Contenido de Humedad, [%] | (4)/(5)X100 | 0.33 | 0.32 | 0.31 |
| 7. Contenido de Humedad PROM, [%] | % | | 0.32% | |

RESUMEN

| | |
|---|---------------|
| Grava (No.4 < Diam < 3") | 0.08% |
| Grava Gruesa (3/4" < Diam < 3") | 0.00% |
| Grava Fina (N°4" < Diam < 3/4") | 0.08% |
| Arena (No.200 < Diam < No.4) | 98.69% |
| Arena Gruesa (No.10 < Diam < No.4) | 0.07% |
| Arena Media (No.40 < Diam < No.10) | 0.18% |
| Arena Fina (No.200 < Diam < No.40) | 98.45% |
| Finos (Diam < No.200) | 1.23% |
| Límite Líquido | N.P. |
| Límite Plástico | N.P. |
| Índice Plasticidad | N.P. |
| Peso Específico | 2.654 |
| Contenido de Humedad | 0.32% |
| Clasificación SUCS | SP |
| Clasificación AASHTO | A-3(0) |

Proyecto : DISEÑO ÓPTIMO DEL PAVIMENTO UTILIZANDO ESCORIA DE HORNOS ELÉCTRICOS COMO MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE EN EL MERCADO LA PERLA-CHIMBOTE

UBICACIÓN : Mercado la Perla, Distrito: Chimbote, Provincia: Santa, Departamento: Ancash

Fecha : JULIO-2021

MUESTRA : Calicata N°1-Estrato 1 de 0.00 a 1.50 m

Responsables : Tesistas

1. CLASIFICACIÓN DE SUELOS POR EL METODO SUCS

A. PORCENTAJE QUE PASA LA MALLA N#200

| | |
|---------------------------|---------------------|
| % QUE PASA LA MALLA N#200 | 1.23 |
| TIPO DE SUELO | SUELO GRUESO |

B. TIPO DE SUELO GRUESO

B.1 PORCENTAJE QUE PASA LA MALLA N#4

| | |
|-------------------------|--------------|
| % QUE PASA LA MALLA N#4 | 99.92 |
| TIPO DE SUELO | ARENA |

B.2 CRITERIO DE GRANULOMETRIA(FINOS < 5%)

| | |
|----------------------------|------|
| COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD | 1.35 |
| COEFICIENTE DE CURVATURA | 1.00 |
| LIMITE LIQUIDO | N.P |
| LIMITE PLASTICO | N.P |

ENTONCES ES UN TIPO DE SUELO

SP ARENA MAL GRADUADA

2. CLASIFICACIÓN DE SUELOS POR EL METODO AASHTO

A. PORCENTAJE QUE PASA LA MALLA

| | |
|---------------------------|--------------------------|
| % QUE PASA LA MALLA N#10 | 99.85 |
| % QUE PASA LA MALLA N#40 | 99.68 |
| % QUE PASA LA MALLA N#200 | 1.23 |
| TIPO DE SUELO | MATERIAL GRANULAR |

B. TIPO DE MATERIAL GRANULAR

| | |
|-----------------|-----|
| LIMITE LIQUIDO | N.P |
| LIMITE PLASTICO | N.P |
| INDICE DE GRUPO | 0 |

ENTONCES ES UN TIPO DE SUELO

A-3(0)

ENSAYO DE COMPACTACION
PROCTOR MODIFICADO(MTC E 115)
PROYECTO : DISEÑO ÓPTIMO DEL PAVIMENTO UTILIZANDO ESCORIA DE HORNOS ELÉCTRICOS COMO MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE EN EL MERCADO LA PERLA-CHIMBOTE

UBICACIÓN : Mercado la Perla, Distrito: Chimbote, Provincia: Santa, Departamento: Ancash

MUESTRA: : Calicata N°1

FECHA : JULIO-2021

: JULIO-2021

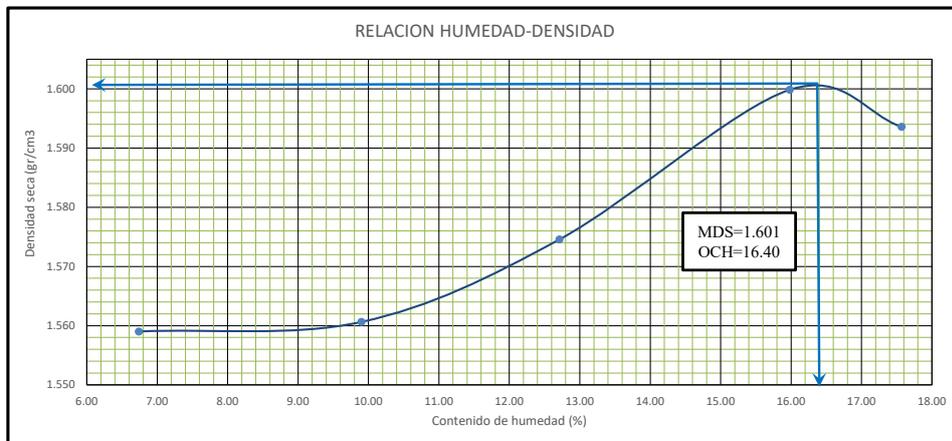
DOSIFICACION : 0

DETERMINACION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD

| Prueba N° | | 01 | | 02 | | 03 | | 04 | | 5 | |
|---------------------------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|-------|-------|--------|
| Peso del tarro | (gr) | 27.30 | 28.07 | 27.45 | 27.63 | 27.88 | 27.37 | 28.16 | 27.73 | 28.30 | 27.23 |
| Peso del tarro + Muestra Humeda | (gr) | 54.01 | 48.18 | 81.20 | 75.15 | 99.08 | 102.12 | 108.11 | 87.90 | 96.14 | 104.28 |
| Peso del tarro + Muestra seca | (gr) | 52.31 | 46.92 | 76.36 | 70.86 | 91.03 | 93.72 | 97.02 | 79.67 | 86.09 | 92.67 |
| Peso del agua | (gr) | 1.70 | 1.26 | 4.83 | 4.29 | 8.06 | 8.40 | 11.09 | 8.23 | 10.05 | 11.61 |
| Peso del material seco | (gr) | 25.01 | 18.86 | 48.92 | 43.23 | 63.15 | 66.35 | 68.86 | 51.94 | 57.79 | 65.44 |
| Contenido de humedad | % | 6.80 | 6.68 | 9.88 | 9.91 | 12.76 | 12.66 | 16.10 | 15.85 | 17.40 | 17.73 |
| % Promedio | | 6.74 | | 9.90 | | 12.71 | | 15.98 | | 17.57 | |

DETERMINACION DE LA DENSIDAD

| | | | | | | |
|------------------------|-----------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Contenido de humedad | % | 6.74 | 9.90 | 12.71 | 15.98 | 17.57 |
| Peso del suelo + Molde | (gr) | 3507 | 3550 | 3600 | 3687 | 3699 |
| Peso del molde | (gr) | 1942 | 1937 | 1931 | 1942 | 1937 |
| Peso del suelo | (gr) | 1565 | 1613 | 1669 | 1745 | 1762 |
| Volumen del Molde | (cm ³) | 940.45 | 940.45 | 940.45 | 940.45 | 940.45 |
| Densidad de Humedad | (gr/cm ³) | 1.664 | 1.715 | 1.775 | 1.855 | 1.874 |
| Densidad seca | (gr/cm ³) | 1.559 | 1.561 | 1.575 | 1.600 | 1.594 |

Densidad máxima (gr/cm³)
1.601
Humedad óptima (%)
16.40%


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

PROYECTO: DISEÑO ÓPTIMO DEL PAVIMENTO UTILIZANDO ESCORIA DE HORNOS ELÉCTRICOS COMO MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE EN EL MERCADO LA PERLA-CHIMBOTE

UBICACIÓN: Mercado la Perla, Distrito: Chimbote, Provincia: Santa, Departamento: Ancash

FECHA: JULIO - 2021

MUESTRA: Calicata N°1

RESPONSABLES: TESISISTAS

DATOS DE LA MUESTRA

| | |
|----------------------------|------------------------------|
| MUESTRA: | Terreno Natural-Calicata N°1 |
| CLASIFICACIÓN SUCS: | SP |

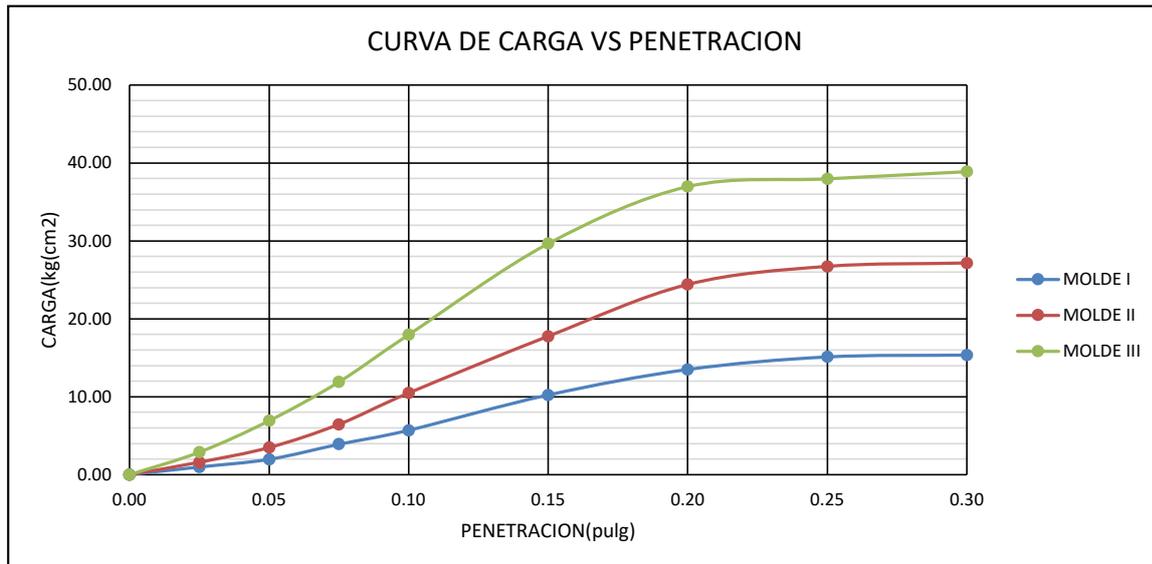
| | |
|-------------------------|-------|
| DENSIDAD MÁXIMA: | 1.601 |
| HUMEDAD ÓPTIMA: | 16.4 |

COMPACTACIÓN

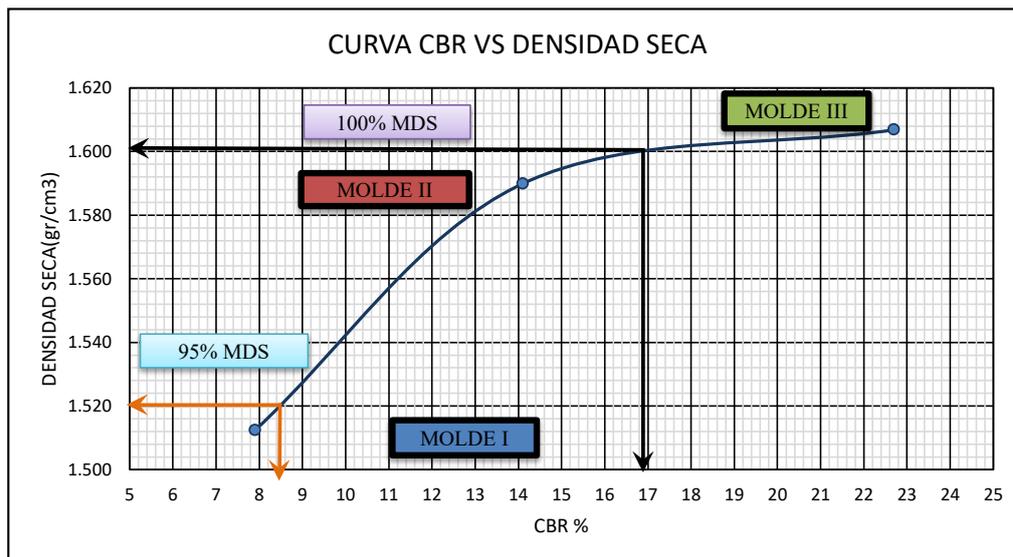
| Molde N° | 1 | 2 | 3 |
|--------------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| N° de golpes por capa | 12 | 26 | 56 |
| CONDICIONES DE LA MUESTRA | Despues de Mojado | Despues de Mojado | Despues de Mojado |
| Peso del molde + suelo húmedo (grs.) | 10909 | 11132 | 11195 |
| Peso del molde (gramos) | 7172 | 7159 | 7160 |
| Peso del suelo húmedo (grs.) | 3737 | 3973 | 4035 |
| Volumen del molde (cc) | 2105 | 2105 | 2105 |
| Densidad húmeda (grs./cm3) | 1.78 | 1.89 | 1.92 |
| Densidad seca (grs./cm3) | 1.512 | 1.590 | 1.607 |
| Tarro N° | 10 | 12 | 16 |
| Peso del tarro + suelo húmedo (grs.) | 134.857 | 110.43 | 72.608 |
| Peso del tarro + suelo seco (grs.) | 118.948 | 97.547 | 65.428 |
| Peso del agua (grs.) | 15.91 | 12.883 | 7.18 |
| Peso del tarro (grs.) | 27.441 | 28.700 | 28.217 |
| Peso del suelo seco (grs.) | 91.51 | 68.85 | 37.21 |
| % de humedad | 17.39 | 18.71 | 19.30 |

PENETRACIÓN

| PENETRACIÓN | | CARGA ESTANDAR kg/cm2 | MOLDE N° I | | MOLDE N° II | | MOLDE N° III | |
|-------------|------|--------------------------|------------|---------|-------------|---------|--------------|---------|
| pulg | mm | | CARGA | PRESIÓN | CARGA | PRESIÓN | CARGA | PRESIÓN |
| 0.000 | 0.00 | | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.000 | 0.00 | 0.000 |
| 0.025 | 0.64 | | 19.40 | 0.99 | 31.50 | 1.604 | 56.70 | 2.888 |
| 0.050 | 1.27 | | 38.60 | 1.97 | 68.40 | 3.484 | 135.80 | 6.916 |
| 0.075 | 1.91 | | 76.50 | 3.90 | 126.90 | 6.463 | 233.50 | 11.892 |
| 0.100 | 2.54 | 70.00 | 111.90 | 5.70 | 205.80 | 10.481 | 352.60 | 17.958 |
| 0.150 | 3.81 | | 200.90 | 10.23 | 348.90 | 17.769 | 582.10 | 29.646 |
| 0.200 | 5.08 | 105.00 | 265.10 | 13.50 | 479.40 | 24.416 | 725.80 | 36.965 |
| 0.250 | 6.35 | | 296.60 | 15.11 | 524.90 | 26.733 | 745.40 | 37.963 |
| 0.300 | 7.62 | | 301.40 | 15.35 | 533.50 | 27.171 | 763.40 | 38.880 |



| MOLDE | Penetracion (pulg.) | Presion Aplicada (kg/cm2) | Presion Patrón(Kg/cm2) | C.B.R (%) | Expansión |
|-------|---------------------|---------------------------|------------------------|-----------|-----------|
| I | 0.1 | 5.70 | 70.00 | 7.9 | 0.00 |
| II | 0.1 | 10.481 | 70.00 | 14.1 | 0.00 |
| III | 0.1 | 17.958 | 70.00 | 22.7 | 0.00 |



| | | |
|---------------------|-------|----------------|
| C.B.R para 100% MDS | 1.601 | 16.81 % |
| C.B.R para 95% MDS | 1.521 | 8.41 % |

Proyecto : DISEÑO ÓPTIMO DEL PAVIMENTO UTILIZANDO ESCORIA DE HORNOS ELÉCTRICOS COMO MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE EN EL MERCADO LA PERLA-CHIMBOTE

UBICACIÓN : Mercado la Perla, Distrito: Chimbote, Provincia: Santa, Departamento: Ancash

Fecha : JULIO-2021

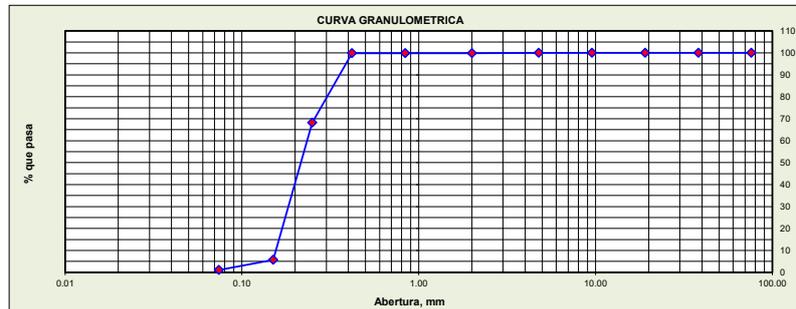
MUESTRA : Calicata N°2-Estrato 1 de 0.00 a 1.50 m

Responsables : Tesistas

1. ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO (MTC E 107)

| | |
|-------------------------------------|---------|
| Peso Total de la Muestra(gr) | 1000.00 |
| Peso Final de la Muestra(gr) | 996.04 |

| Mallas | Abertura [mm] | Peso Retenido [grs] | % Pasa |
|----------|---------------|---------------------|--------|
| 3" | 76.000 | 0.00 | 100.00 |
| 1 1/2" | 38.100 | 0.00 | 100.00 |
| 3/4" | 19.050 | 0.00 | 100.00 |
| 3/8" | 9.525 | 0.00 | 100.00 |
| N° 4 | 4.760 | 0.44 | 99.96 |
| N° 10 | 2.000 | 0.71 | 99.88 |
| N° 20 | 0.840 | 0.51 | 99.83 |
| N° 40 | 0.420 | 0.64 | 99.77 |
| N° 60 | 0.250 | 314.62 | 68.18 |
| N° 100 | 0.150 | 622.82 | 5.65 |
| N° 200 | 0.074 | 45.59 | 1.08 |
| < N° 200 | | 10.71 | 0.00 |



2. LIMITES DE CONSISTENCIA (MTC E 110- MTC E 111)

A. LIMITE LIQUIDO (MTC E 110)

| Procedimiento | Fórmula | Tara No | | | |
|-----------------------------------|-------------|---------|---|-------------|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1. No de Golpes | | | | | |
| 2. Peso Tara, [gr] | | | | | |
| 3. Peso Tara + Suelo Húmedo, [gr] | | | | | |
| 4. Peso Tara + Suelo Seco, [gr] | | | | NO PRESENTA | |
| 5. Peso Agua, [gr] | (3)-(4) | | | | |
| 6. Peso Suelo Seco, [gr] | (4)-(2) | | | | |
| 7. Contenido de Humedad, [%] | (5)/(6)X100 | | | | |

B. LIMITE PLASTICO (MTC E 111)

| Procedimiento | Fórmula | Tara No | | |
|-----------------------------------|-------------|---------|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 |
| 1. Peso Tara, [gr] | | | | |
| 2. Peso Tara + Suelo Húmedo, [gr] | | | | |
| 3. Peso Tara + Suelo Seco, [gr] | | | | |
| 4. Peso Agua, [gr] | (2)-(3) | | | |
| 5. Peso Suelo Seco, [gr] | (3)-(1) | | | |
| 6. Contenido de Humedad, [%] | (4)/(5)X100 | | | |



3. CONTENIDO DE HUMEDAD (MTC - E 108)

| Procedimiento | Fórmula | Tara No | | |
|-----------------------------------|-------------|---------|--------|--------|
| | | 1 | 2 | 3 |
| 1. Peso Tara, [gr] | | 27.64 | 27.88 | 27.94 |
| 2. Peso Tara + Suelo Húmedo, [gr] | | 134.17 | 148.02 | 147.48 |
| 3. Peso Tara + Suelo Seco, [gr] | | 133.72 | 147.45 | 146.98 |
| 4. Peso Agua, [gr] | (2)-(3) | 0.45 | 0.57 | 0.50 |
| 5. Peso Suelo Seco, [gr] | (3)-(1) | 106.08 | 119.57 | 119.04 |
| 6. Contenido de Humedad, [%] | (4)/(5)X100 | 0.43 | 0.48 | 0.42 |
| 7. Contenido de Humedad PROM, [%] | % | 0.44% | | |

RESUMEN

| | |
|---|---------------|
| Grava (No.4 < Diam < 3") | 0.04% |
| Grava Gruesa (3/4" < Diam < 3") | 0.00% |
| Grava Fina (N°4" < Diam < 3/4") | 0.04% |
| Arena (No.200 < Diam < No.4) | 98.88% |
| Arena Gruesa (No.10 < Diam < No.4) | 0.07% |
| Arena Media (No.40 < Diam < No.10) | 0.12% |
| Arena Fina (No.200 < Diam < No.40) | 98.69% |
| Finos (Diam < No.200) | 1.08% |
| Límite Líquido | N.P. |
| Límite Plástico | N.P. |
| Índice Plasticidad | N.P. |
| Peso Específico | 2.656 |
| Contenido de Humedad | 0.44% |
| Clasificación SUCS | SP |
| Clasificación AASHTO | A-3(0) |

Proyecto : DISEÑO ÓPTIMO DEL PAVIMENTO UTILIZANDO ESCORIA DE HORNOS ELÉCTRICOS COMO MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE EN EL MERCADO LA PERLA-CHIMBOTE

UBICACIÓN : Mercado la Perla, Distrito: Chimbote, Provincia: Santa, Departamento: Ancash **Fecha** : JULIO-2021

MUESTRA : Calicata N°2-Estrato 1 de 0.00 a 1.50 m **Responsables** : Tesistas

1. CLASIFICACIÓN DE SUELOS POR EL METODO SUCS

A. PORCENTAJE QUE PASA LA MALLA N#200

| | |
|---------------------------|---------------------|
| % QUE PASA LA MALLA N#200 | 1.08 |
| TIPO DE SUELO | SUELO GRUESO |

B. TIPO DE SUELO GRUESO

B.1 PORCENTAJE QUE PASA LA MALLA N#4

| | |
|-------------------------|--------------|
| % QUE PASA LA MALLA N#4 | 99.96 |
| TIPO DE SUELO | ARENA |

B.2 CRITERIO DE GRANULOMETRIA(FINOS < 5%)

| | |
|----------------------------|------|
| COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD | 1.50 |
| COEFICIENTE DE CURVATURA | 1.00 |
| LIMITE LIQUIDO | N.P |
| LIMITE PLASTICO | N.P |

ENTONCES ES UN TIPO DE SUELO **SP** **ARENA MAL GRADUADA**

2. CLASIFICACIÓN DE SUELOS POR EL METODO AASHTO

A. PORCENTAJE QUE PASA LA MALLA

| | |
|---------------------------|--------------------------|
| % QUE PASA LA MALLA N#10 | 99.88 |
| % QUE PASA LA MALLA N#40 | 99.77 |
| % QUE PASA LA MALLA N#200 | 1.08 |
| TIPO DE SUELO | MATERIAL GRANULAR |

B. TIPO DE MATERIAL GRANULAR

| | |
|-----------------|-----|
| LIMITE LIQUIDO | N.P |
| LIMITE PLASTICO | N.P |
| INDICE DE GRUPO | 0 |

ENTONCES ES UN TIPO DE SUELO **A-3(0)**

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

PROYECTO : DISEÑO ÓPTIMO DEL PAVIMENTO UTILIZANDO ESCORIA DE HORNOS ELÉCTRICOS COMO MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE EN EL MERCADO LA PERLA-CHIMBOTE

UBICACIÓN: Mercado la Perla, Distrito: Chimbote, Provincia: Santa, Departamento: Ancash

FECHA: JULIO - 2021

MUESTRA : Calicata N°2

RESPONSABLES: TESISTAS

DATOS DE LA MUESTRA

| | |
|----------------------------|------------------------------|
| MUESTRA: | Terreno Natural-Calicata N°2 |
| CLASIFICACIÓN SUCS: | SP |

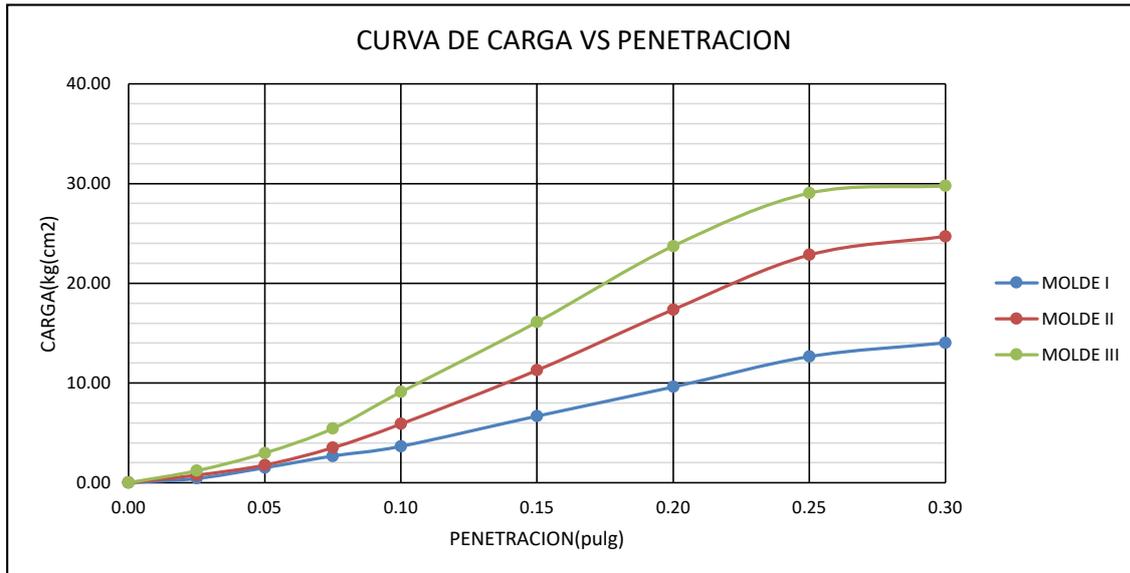
| | |
|-------------------------|-------|
| DENSIDAD MÁXIMA: | 1.565 |
| HUMEDAD ÓPTIMA: | 16.5 |

COMPACTACIÓN

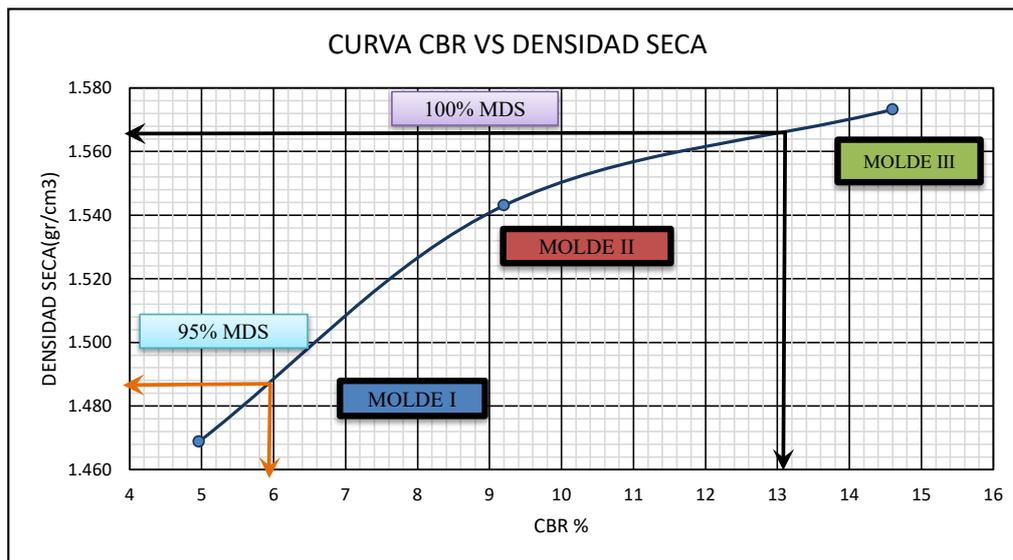
| Molde N° | 1 | 2 | 3 |
|--------------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| N° de golpes por capa | 12 | 26 | 56 |
| CONDICIONES DE LA MUESTRA | Despues de Mojado | Despues de Mojado | Despues de Mojado |
| Peso del molde + suelo húmedo (grs) | 10883 | 11087 | 11198 |
| Peso del molde (gramos) | 7172 | 7159 | 7159 |
| Peso del suelo húmedo (grs.) | 3711 | 3928 | 4039 |
| Volumen del molde (cc) | 2105 | 2105 | 2105 |
| Densidad húmeda (grs./cm3) | 1.76 | 1.87 | 1.92 |
| Densidad seca (grs./cm3) | 1.469 | 1.543 | 1.573 |
| Tarro N° | 10 | 12 | 16 |
| Peso del tarro + suelo húmedo (grs.) | 105.598 | 95.395 | 108.766 |
| Peso del tarro + suelo seco (grs.) | 92.589 | 83.946 | 94.514 |
| Peso del agua (grs.) | 13.01 | 11.449 | 14.252 |
| Peso del tarro (grs.) | 27.646 | 29.255 | 29.628 |
| Peso del suelo seco (grs.) | 64.94 | 54.69 | 64.89 |
| % de humedad | 20.03 | 20.93 | 21.96 |

PENETRACIÓN

| PENETRACIÓN | | CARGA ESTANDAR kg/cm2 | MOLDE N° I | | MOLDE N° II | | MOLDE N° III | |
|-------------|------|--------------------------|------------|---------|-------------|---------|--------------|---------|
| pulg | mm | | CARGA | PRESIÓN | CARGA | PRESIÓN | CARGA | PRESIÓN |
| 0.000 | 0.00 | | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.000 | 0.00 | 0.000 |
| 0.025 | 0.64 | | 8.30 | 0.42 | 14.80 | 0.754 | 23.60 | 1.202 |
| 0.050 | 1.27 | | 29.40 | 1.50 | 34.70 | 1.767 | 58.40 | 2.974 |
| 0.075 | 1.91 | | 52.70 | 2.68 | 68.90 | 3.509 | 106.70 | 5.434 |
| 0.100 | 2.54 | 70.00 | 71.60 | 3.65 | 115.60 | 5.887 | 178.40 | 9.086 |
| 0.150 | 3.81 | | 131.20 | 6.68 | 221.40 | 11.276 | 316.20 | 16.104 |
| 0.200 | 5.08 | 105.00 | 188.40 | 9.60 | 340.80 | 17.357 | 465.90 | 23.728 |
| 0.250 | 6.35 | | 248.40 | 12.65 | 448.40 | 22.837 | 570.20 | 29.040 |
| 0.300 | 7.62 | | 275.40 | 14.03 | 485.10 | 24.706 | 584.40 | 29.763 |



| MOLDE | Penetración (pulg.) | Presion Aplicada (kg/cm ²) | Presion Patrón(Kg/cm ²) | C.B.R (%) | Expansión |
|-------|---------------------|--|-------------------------------------|-----------|-----------|
| I | 0.1 | 3.65 | 70.00 | 4.96 | 0.00 |
| II | 0.1 | 5.887 | 70.00 | 9.2 | 0.00 |
| III | 0.1 | 9.086 | 70.00 | 14.6 | 0.00 |



| | | | |
|---------------------|-------|-------|---|
| C.B.R para 100% MDS | 1.565 | 13.12 | % |
| C.B.R para 95% MDS | 1.487 | 5.98 | % |

**ENSAYO DE COMPACTACION
 PROCTOR MODIFICADO(MTC E 115)**
PROYECTO : DISEÑO ÓPTIMO DEL PAVIMENTO UTILIZANDO ESCORIA DE HORNOS ELÉCTRICOS COMO MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE EN EL MERCADO LA PERLA-CHIMBOTE

UBICACIÓN : Mercado la Perla, Distrito: Chimbote, Provincia: Santa, Departamento: Ancash

MUESTRA: : Calicata N°1

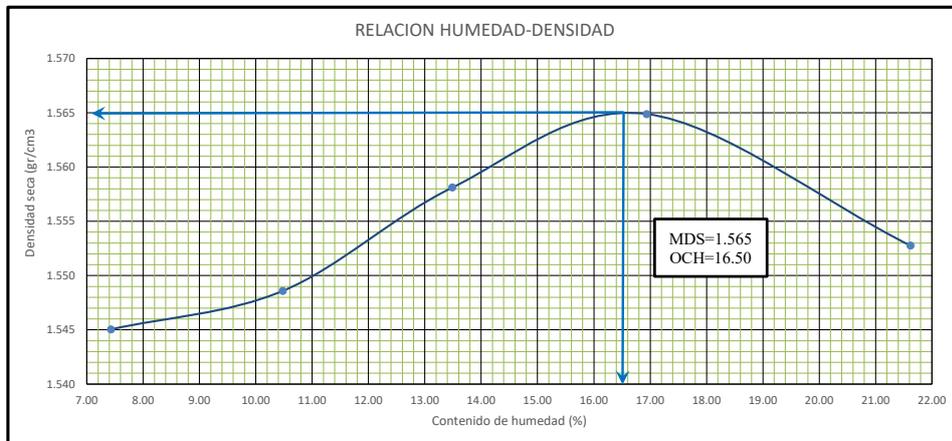
FECHA : JULIO-2021

DETERMINACION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD

| Prueba N° | 01 | | 02 | | 03 | | 04 | | 5 | |
|--------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|
| Peso del tarro (gr) | 27.30 | 28.07 | 27.45 | 27.63 | 27.88 | 27.37 | 28.16 | 27.73 | 28.30 | 27.23 |
| Peso del tarro + Muestra Humeda (gr) | 99.68 | 92.63 | 77.05 | 74.30 | 92.80 | 79.70 | 79.03 | 83.70 | 103.56 | 103.84 |
| Peso del tarro + Muestra seca (gr) | 94.70 | 88.15 | 72.35 | 69.87 | 84.98 | 73.56 | 71.59 | 75.67 | 90.19 | 90.21 |
| Peso del agua (gr) | 4.99 | 4.48 | 4.71 | 4.43 | 7.82 | 6.14 | 7.44 | 8.03 | 13.37 | 13.63 |
| Peso del material seco (gr) | 67.40 | 60.08 | 44.90 | 42.24 | 57.10 | 46.19 | 43.43 | 47.94 | 61.89 | 62.98 |
| Contenido de humedad (%) | 7.40 | 7.46 | 10.48 | 10.49 | 13.70 | 13.29 | 17.14 | 16.75 | 21.60 | 21.64 |
| % Promedio | 7.43 | | 10.48 | | 13.49 | | 16.94 | | 21.62 | |

DETERMINACION DE LA DENSIDAD

| | | | | | |
|---|--------|--------|--------|--------|--------|
| Contenido de humedad (%) | 7.43 | 10.48 | 13.49 | 16.94 | 21.62 |
| Peso del suelo + Molde (gr) | 3503 | 3546 | 3594 | 3663 | 3713 |
| Peso del molde (gr) | 1942 | 1937 | 1931 | 1942 | 1937 |
| Peso del suelo (gr) | 1561 | 1609 | 1663 | 1721 | 1776 |
| Volumen del Molde (cm ³) | 940.45 | 940.45 | 940.45 | 940.45 | 940.45 |
| Densidad de Humedad (gr/cm ³) | 1.660 | 1.711 | 1.768 | 1.830 | 1.888 |
| Densidad seca (gr/cm ³) | 1.545 | 1.549 | 1.558 | 1.565 | 1.553 |

Densidad máxima (gr/cm3)
1.565
Humedad óptima (%)
16.50%


Proyecto : DISEÑO ÓPTIMO DEL PAVIMENTO UTILIZANDO ESCORIA DE HORNOS ELÉCTRICOS COMO MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE EN EL MERCADO LA PERLA-CHIMBOTE

UBICACIÓN : Mercado la Perla, Distrito: Chimbote, Provincia: Santa, Departamento: Ancash

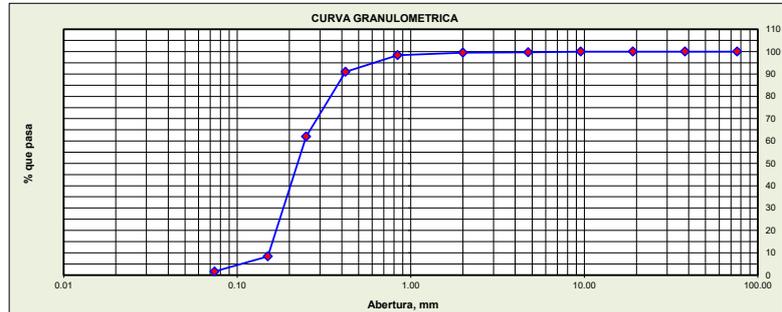
Fecha : JULIO-2021

MUESTRA : Calicata N°3-Estrato 1 de 0.00 a 1.50 m

Responsables : Tesistas

1. ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO (MTC E 107)

| Peso Total de la Muestra(gr) | 900.00 | | |
|-------------------------------------|---------------|---------------------|--------|
| Peso Final de la Muestra(gr) | 897.87 | | |
| Mallas | Abertura [mm] | Peso Retenido [grs] | % Pasa |
| 3" | 76.000 | 0.00 | 100.00 |
| 1 1/2" | 38.100 | 0.00 | 100.00 |
| 3/4" | 19.050 | 0.00 | 100.00 |
| 3/8" | 9.525 | 0.00 | 100.00 |
| N° 4 | 4.760 | 2.12 | 99.76 |
| N° 10 | 2.000 | 1.54 | 99.59 |
| N° 20 | 0.840 | 10.50 | 98.42 |
| N° 40 | 0.420 | 67.72 | 90.88 |
| N° 60 | 0.250 | 259.89 | 61.94 |
| N° 100 | 0.150 | 480.86 | 8.38 |
| N° 200 | 0.074 | 60.75 | 1.61 |
| < N° 200 | | 14.49 | 0.00 |



2. LIMITES DE CONSISTENCIA (MTC E 110- MTC E 111)

A. LIMITE LIQUIDO(MTC E 110)

| Procedimiento | Fórmula | Tara No | | |
|-----------------------------------|-------------|---------|--|-------------|
| 1. No de Golpes | | | | |
| 2. Peso Tara, [gr] | | | | |
| 3. Peso Tara + Suelo Húmedo, [gr] | | | | |
| 4. Peso Tara + Suelo Seco, [gr] | | | | NO PRESENTA |
| 5. Peso Agua, [gr] | (3)-(4) | | | |
| 6. Peso Suelo Seco, [gr] | (4)-(2) | | | |
| 7. Contenido de Humedad, [%] | (5)/(6)X100 | | | |

B. LIMITE PLASTICO(MTC E 111)

| Procedimiento | Fórmula | Tara No | | |
|-----------------------------------|-------------|---------|--|-------------|
| 1. Peso Tara, [gr] | | | | |
| 2. Peso Tara + Suelo Húmedo, [gr] | | | | |
| 3. Peso Tara + Suelo Seco, [gr] | | | | NO PLASTICO |
| 4. Peso Agua, [gr] | (2)-(3) | | | |
| 5. Peso Suelo Seco, [gr] | (3)-(1) | | | |
| 6. Contenido de Humedad, [%] | (4)/(5)X100 | | | |



3. CONTENIDO DE HUMEDAD (MTC - E 108)

| Procedimiento | Fórmula | Tara No | | |
|-----------------------------------|-------------|---------|--------|--------|
| | | 1 | 2 | 3 |
| 1. Peso Tara, [gr] | | 28.28 | 27.58 | 28.52 |
| 2. Peso Tara + Suelo Húmedo, [gr] | | 122.81 | 130.98 | 120.19 |
| 3. Peso Tara + Suelo Seco, [gr] | | 120.69 | 128.51 | 118.02 |
| 4. Peso Agua, [gr] | (2)-(3) | 2.13 | 2.46 | 2.16 |
| 5. Peso Suelo Seco, [gr] | (3)-(1) | 92.40 | 100.93 | 89.51 |
| 6. Contenido de Humedad, [%] | (4)/(5)X100 | 2.30 | 2.44 | 2.42 |
| 7. Contenido de Humedad PROM. [%] | % | 2.39% | | |

RESUMEN

| | |
|---|---------------|
| Grava (No.4 < Diam < 3") | 0.24% |
| Grava Gruesa (3/4" < Diam < 3") | 0.00% |
| Grava Fina (N°4" < Diam < 3/4") | 0.24% |
| Arena (No.200 < Diam < No.4) | 98.15% |
| Arena Gruesa (No.10 < Diam < No.4) | 0.17% |
| Arena Media (No.40 < Diam < No.10) | 8.71% |
| Arena Fina (No.200 < Diam < No.40) | 89.27% |
| Finos (Diam < No.200) | 1.61% |
| Límite Líquido | N.P. |
| Límite Plástico | N.P. |
| Índice Plasticidad | N.P. |
| Peso Específico | 2.661 |
| Contenido de Humedad | 2.39% |
| Clasificación SUCS | SP |
| Clasificación AASHTO | A-3(0) |

Proyecto : DISEÑO ÓPTIMO DEL PAVIMENTO UTILIZANDO ESCORIA DE HORNOS ELÉCTRICOS COMO MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE EN EL MERCADO LA PERLA-CHIMBOTE

UBICACIÓN : Mercado la Perla, Distrito: Chimbote, Provincia: Santa, Departamento: Ancash

Fecha : JULIO-2021

MUESTRA : Calicata N°3-Estrato 1 de 0.00 a 1.50 m

Responsables : Tesistas

1. CLASIFICACIÓN DE SUELOS POR EL METODO SUCS

A. PORCENTAJE QUE PASA LA MALLA N#200

| | |
|---------------------------|---------------------|
| % QUE PASA LA MALLA N#200 | 1.61 |
| TIPO DE SUELO | SUELO GRUESO |

B. TIPO DE SUELO GRUESO

B.1 PORCENTAJE QUE PASA LA MALLA N#4

| | |
|-------------------------|--------------|
| % QUE PASA LA MALLA N#4 | 99.76 |
| TIPO DE SUELO | ARENA |

B.2 CRITERIO DE GRANULOMETRIA(FINOS < 5%)

| | |
|----------------------------|------|
| COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD | 1.61 |
| COEFICIENTE DE CURVATURA | 1.00 |
| LIMITE LIQUIDO | N.P |
| LIMITE PLASTICO | N.P |

ENTONCES ES UN TIPO DE SUELO

SP

ARENA MAL GRADUADA

2. CLASIFICACIÓN DE SUELOS POR EL METODO AASHTO

A. PORCENTAJE QUE PASA LA MALLA

| | |
|---------------------------|--------------------------|
| % QUE PASA LA MALLA N#10 | 99.59 |
| % QUE PASA LA MALLA N#40 | 90.88 |
| % QUE PASA LA MALLA N#200 | 1.61 |
| TIPO DE SUELO | MATERIAL GRANULAR |

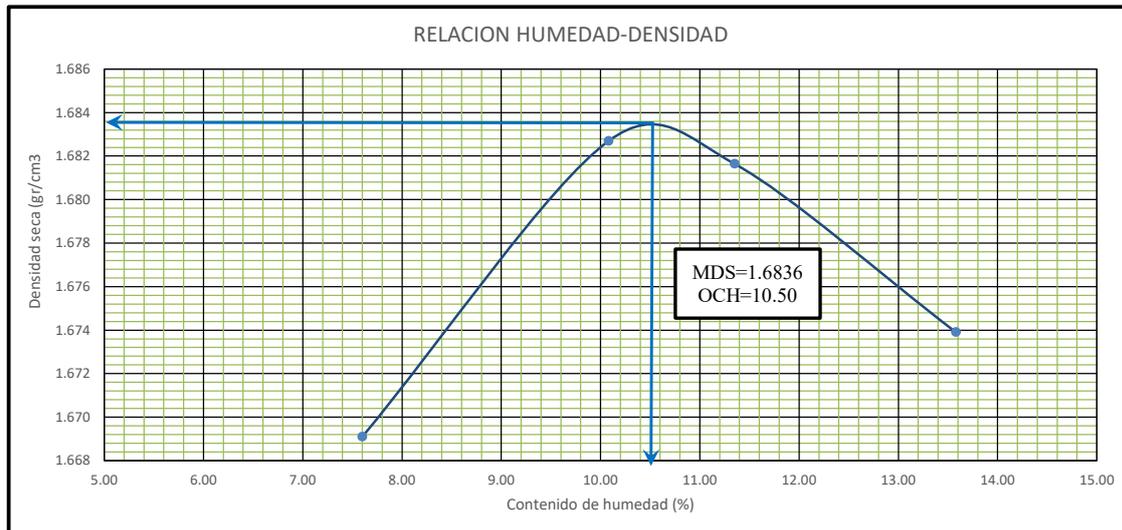
B. TIPO DE MATERIAL GRANULAR

| | |
|-----------------|-----|
| LIMITE LIQUIDO | N.P |
| LIMITE PLASTICO | N.P |
| INDICE DE GRUPO | 0 |

ENTONCES ES UN TIPO DE SUELO

A-3(0)

| ENSAYO DE COMPACTACION | | | | | | | | | | |
|--|---|--------|-------|--------|-------|--------|--------------|---------------|-------|--|
| PROCTOR MODIFICADO(MTC E 115) | | | | | | | | | | |
| PROYECTO | :DISEÑO ÓPTIMO DEL PAVIMENTO UTILIZANDO ESCORIA DE HORNOS ELÉCTRICOS COMO MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE EN EL MERCADO LA PERLA-CHIMBOTE | | | | | | | | | |
| UBICACIÓN | : Mercado la Perla, Distrito: Chimbote, Provincia: Santa, Departamento: Ancash | | | | | | | | | |
| MUESTRA: | : Calicata N°3 | | | | | | FECHA | : JULIO-2021 | | |
| DETERMINACION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD | | | | | | | | | | |
| Prueba N° | | 01 | | 02 | | 03 | | 04 | | |
| Peso del tarro | (gr) | 27.30 | 28.07 | 27.45 | 27.63 | 27.88 | 27.37 | 28.16 | 27.73 | |
| Peso del tarro + Muestra Humeda | (gr) | 83.93 | 77.22 | 84.43 | 79.51 | 66.14 | 81.98 | 80.91 | 95.54 | |
| Peso del tarro + Muestra seca | (gr) | 79.91 | 73.76 | 79.19 | 74.77 | 62.25 | 76.40 | 74.57 | 87.48 | |
| Peso del agua | (gr) | 4.02 | 3.46 | 5.24 | 4.74 | 3.89 | 5.58 | 6.34 | 8.06 | |
| Peso del material seco | (gr) | 52.62 | 45.69 | 51.75 | 47.14 | 34.37 | 49.03 | 46.41 | 59.75 | |
| Contenido de humedad | % | 7.63 | 7.57 | 10.12 | 10.04 | 11.33 | 11.38 | 13.66 | 13.49 | |
| % Promedio | | 7.60 | | 10.08 | | 11.35 | | 13.58 | | |
| DETERMINACION DE LA DENSIDAD | | | | | | | | | | |
| Contenido de humedad | % | 7.60 | | 10.08 | | 11.35 | | 13.58 | | |
| Peso del suelo + Molde | (gr) | 3631 | | 3679 | | 3692 | | 3730 | | |
| Peso del molde | (gr) | 1942 | | 1937 | | 1931 | | 1942 | | |
| Peso del suelo | (gr) | 1689 | | 1742 | | 1761 | | 1788 | | |
| Volumen del Molde | (cm ³) | 940.45 | | 940.45 | | 940.45 | | 940.45 | | |
| Densidad de Humedad | (gr/cm ³) | 1.796 | | 1.852 | | 1.873 | | 1.901 | | |
| Densidad seca | (gr/cm ³) | 1.669 | | 1.683 | | 1.682 | | 1.674 | | |
| Densidad máxima (gr/cm3) | | | | | | | | 1.6836 | | |
| Humedad óptima (%) | | | | | | | | 10.50% | | |



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

PROYECTO : DISEÑO ÓPTIMO DEL PAVIMENTO UTILIZANDO ESCORIA DE HORNOS ELÉCTRICOS COMO MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE EN EL MERCADO LA PERLA-CHIMBOTE

UBICACIÓN: Mercado la Perla, Distrito: Chimbote, Provincia: Santa, Departamento: Ancash

FECHA: JULIO - 2021

MUESTRA : Calicata N°3

RESPONSABLES: TESISTAS

DATOS DE LA MUESTRA

| | |
|----------------------------|------------------------------|
| MUESTRA: | Terreno Natural-Calicata N°3 |
| CLASIFICACIÓN SUCS: | SP |

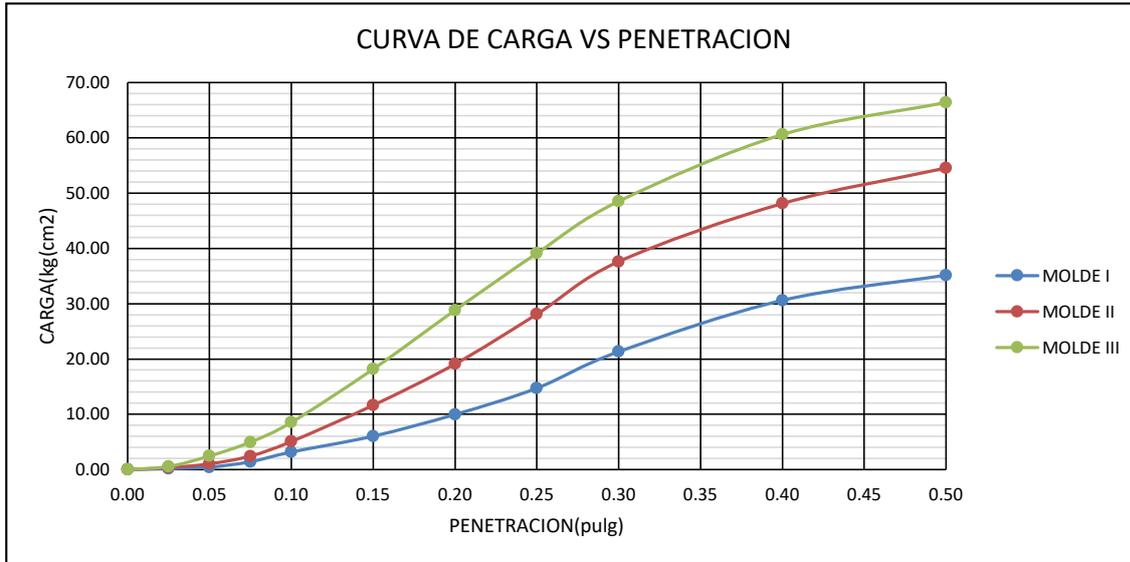
| | |
|-------------------------|-------|
| DENSIDAD MÁXIMA: | 1.684 |
| HUMEDAD ÓPTIMA: | 10.5 |

COMPACTACIÓN

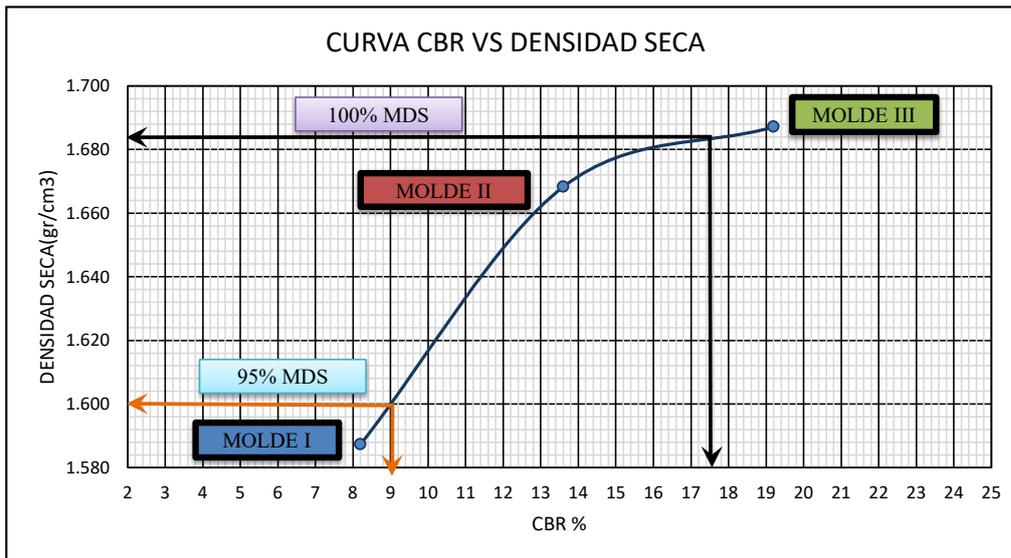
| Molde N° | 1 | 2 | 3 |
|--------------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| N° de golpes por capa | 12 | 26 | 56 |
| CONDICIONES DE LA MUESTRA | Despues de Mojado | Despues de Mojado | Despues de Mojado |
| Peso del molde + suelo húmedo (grs) | 10946 | 11158 | 11223 |
| Peso del molde (gramos) | 7172 | 7160 | 7159 |
| Peso del suelo húmedo (grs.) | 3774 | 3998 | 4064 |
| Volumen del molde (cc) | 2105 | 2105 | 2105 |
| Densidad húmeda (grs./cm3) | 1.79 | 1.90 | 1.93 |
| Densidad seca (grs./cm3) | 1.587 | 1.668 | 1.687 |
| Tarro N° | 10 | 12 | 16 |
| Peso del tarro + suelo húmedo (grs.) | 137.681 | 137.324 | 152.545 |
| Peso del tarro + suelo seco (grs.) | 125.041 | 124.035 | 136.789 |
| Peso del agua (grs.) | 12.64 | 13.289 | 15.756 |
| Peso del tarro (grs.) | 27.441 | 28.067 | 27.646 |
| Peso del suelo seco (grs.) | 97.60 | 95.97 | 109.14 |
| % de humedad | 12.95 | 13.85 | 14.44 |

PENETRACIÓN

| PENETRACIÓN | | CARGA ESTANDAR kg/cm2 | MOLDE N° I | | MOLDE N° II | | MOLDE N° III | |
|-------------|-------|--------------------------|------------|---------|-------------|---------|--------------|---------|
| pulg | mm | | CARGA | PRESIÓN | CARGA | PRESIÓN | CARGA | PRESIÓN |
| 0.000 | 0.00 | | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.000 | 0.00 | 0.000 |
| 0.025 | 0.64 | | 3.40 | 0.17 | 6.50 | 0.331 | 11.00 | 0.560 |
| 0.050 | 1.27 | | 8.60 | 0.44 | 20.40 | 1.039 | 48.10 | 2.450 |
| 0.075 | 1.91 | | 27.60 | 1.41 | 47.90 | 2.440 | 97.50 | 4.966 |
| 0.100 | 2.54 | 70.00 | 62.20 | 3.17 | 99.60 | 5.073 | 167.50 | 8.531 |
| 0.150 | 3.81 | | 118.60 | 6.04 | 228.40 | 11.632 | 356.70 | 18.167 |
| 0.200 | 5.08 | 105.00 | 195.50 | 9.96 | 374.60 | 19.078 | 565.80 | 28.816 |
| 0.250 | 6.35 | | 289.10 | 14.72 | 551.60 | 28.093 | 767.90 | 39.109 |
| 0.300 | 7.62 | | 418.50 | 21.31 | 738.50 | 37.611 | 952.60 | 48.516 |
| 0.400 | 10.16 | | 600.80 | 30.60 | 944.60 | 48.108 | 1189.60 | 60.586 |
| 0.500 | 12.70 | | 690.40 | 35.16 | 1070.90 | 54.540 | 1303.70 | 66.397 |



| MOLDE | Penetración (pulg.) | Presión Aplicada (kg/cm ²) | Presión Patrón (Kg/cm ²) | C.B.R (%) | Expansión |
|-------|---------------------|--|--------------------------------------|-----------|-----------|
| I | 0.1 | 3.17 | 70.00 | 8.2 | 0.00 |
| II | 0.1 | 5.073 | 70.00 | 13.6 | 0.00 |
| III | 0.1 | 8.531 | 70.00 | 19.2 | 0.00 |



| | | |
|---------------------|-------|----------------|
| C.B.R para 100% MDS | 1.684 | 17.46 % |
| C.B.R para 95% MDS | 1.600 | 9.12 % |

Proyecto : DISEÑO ÓPTIMO DEL PAVIMENTO UTILIZANDO ESCORIA DE HORNOS ELÉCTRICOS COMO MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE EN EL MERCADO LA PERLA-CHIMBOTE

UBICACIÓN : Mercado la Perla, Distrito: Chimbote, Provincia: Santa, Departamento: Ancash

Fecha : JULIO-2021

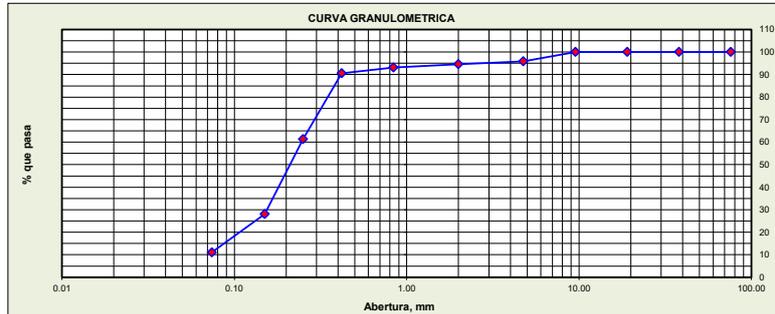
MUESTRA : Calicata N°4-Estrato 1 de 0.00 a 1.50 m

Responsables : Tesistas

1. ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO (MTC E 107)

| | |
|-------------------------------------|--------|
| Peso Total de la Muestra(gr) | 750.00 |
| Peso Final de la Muestra(gr) | 749.20 |

| Mallas | Abertura [mm] | Peso Retenido [grs] | % Pasa |
|----------|---------------|---------------------|--------|
| 3" | 76.000 | 0.00 | 100.00 |
| 1 1/2" | 38.100 | 0.00 | 100.00 |
| 3/4" | 19.050 | 0.00 | 100.00 |
| 3/8" | 9.525 | 0.00 | 100.00 |
| N° 4 | 4.760 | 30.45 | 95.94 |
| N° 10 | 2.000 | 10.53 | 94.53 |
| N° 20 | 0.840 | 10.84 | 93.08 |
| N° 40 | 0.420 | 19.49 | 90.48 |
| N° 60 | 0.250 | 218.55 | 61.31 |
| N° 100 | 0.150 | 248.87 | 28.09 |
| N° 200 | 0.074 | 127.65 | 11.05 |
| < N° 200 | | 82.82 | 0.00 |



2. LIMITES DE CONSISTENCIA (MTC E 110- MTC E 111)

A. LIMITE LIQUIDO (MTC E 110)

| Procedimiento | Fórmula | Tara No | | | |
|-----------------------------------|-------------|---------|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1. No de Golpes | | | | | |
| 2. Peso Tara, [gr] | | | | | |
| 3. Peso Tara + Suelo Húmedo, [gr] | | | | | |
| 4. Peso Tara + Suelo Seco, [gr] | | | | | |
| 5. Peso Agua, [gr] | (3)-(4) | | | | |
| 6. Peso Suelo Seco, [gr] | (4)-(2) | | | | |
| 7. Contenido de Humedad, [%] | (5)/(6)X100 | | | | |

NO PRESENTA

B. LIMITE PLASTICO (MTC E 111)

| Procedimiento | Fórmula | Tara No | | | |
|-----------------------------------|-------------|---------|--|--|--|
| 1. Peso Tara, [gr] | | | | | |
| 2. Peso Tara + Suelo Húmedo, [gr] | | | | | |
| 3. Peso Tara + Suelo Seco, [gr] | | | | | |
| 4. Peso Agua, [gr] | (2)-(3) | | | | |
| 5. Peso Suelo Seco, [gr] | (3)-(1) | | | | |
| 6. Contenido de Humedad, [%] | (4)/(5)X100 | | | | |

NO PLASTICO



3. CONTENIDO DE HUMEDAD (MTC - E 108)

| Procedimiento | Fórmula | Tara No | | |
|-----------------------------------|-------------|---------|--------|--------|
| | | 1 | 2 | 3 |
| 1. Peso Tara, [gr] | | 27.86 | 28.03 | 28.86 |
| 2. Peso Tara + Suelo Húmedo, [gr] | | 118.43 | 112.63 | 137.48 |
| 3. Peso Tara + Suelo Seco, [gr] | | 115.41 | 109.90 | 133.81 |
| 4. Peso Agua, [gr] | (2)-(3) | 3.01 | 2.73 | 3.67 |
| 5. Peso Suelo Seco, [gr] | (3)-(1) | 87.55 | 81.87 | 104.95 |
| 6. Contenido de Humedad, [%] | (4)/(5)X100 | 3.44 | 3.34 | 3.50 |
| 7. Contenido de Humedad PROM, [%] | % | | 3.43% | |

RESUMEN

| | |
|---|---------------|
| Grava (No.4 < Diam < 3") | 4.06% |
| Grava Gruesa (3/4" < Diam < 3") | 0.00% |
| Grava Fina (N°4" < Diam < 3/4") | 4.06% |
| Arena (No.200 < Diam < No.4) | 84.88% |
| Arena Gruesa (No.10 < Diam < No.4) | 1.41% |
| Arena Media (No.40 < Diam < No.10) | 4.05% |
| Arena Fina (No.200 < Diam < No.40) | 79.43% |
| Finos (Diam < No.200) | 11.05% |
| Límite Líquido | N.P. |
| Límite Plástico | N.P. |
| Índice Plasticidad | N.P. |
| Peso Específico | 2.684 |
| Contenido de Humedad | 3.43% |
| Clasificación SUCS | SP-SM |
| Clasificación AASHTO | A2-4(0) |

Proyecto : DISEÑO ÓPTIMO DEL PAVIMENTO UTILIZANDO ESCORIA DE HORNOS ELÉCTRICOS COMO MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE EN EL MERCADO LA PERLA-CHIMBOTE

UBICACIÓN : Mercado la Perla, Distrito: Chimbote, Provincia: Santa, Departamento: Ancash

Fecha : JULIO-2021

MUESTRA : Calicata N°4-Estrato 1 de 0.00 a 1.50 m

Responsables : Tesistas

1. CLASIFICACIÓN DE SUELOS POR EL METODO SUCS

A. PORCENTAJE QUE PASA LA MALLA N#200

| | |
|---------------------------|---------------------|
| % QUE PASA LA MALLA N#200 | 11.05 |
| TIPO DE SUELO | SUELO GRUESO |

B. TIPO DE SUELO GRUESO

B.1 PORCENTAJE QUE PASA LA MALLA N#4

| | |
|-------------------------|--------------|
| % QUE PASA LA MALLA N#4 | 95.94 |
| TIPO DE SUELO | ARENA |

B.2 CRITERIO DE GRANULOMETRIA(5<%FINOS < 12%)

| | |
|-----------------|-----|
| LIMITE LIQUIDO | N.P |
| LIMITE PLASTICO | N.P |

ENTONCES ES UN TIPO DE SUELO

SP-SM ARENA MAL GRADUADA CON LIMO

2. CLASIFICACIÓN DE SUELOS POR EL METODO AASHTO

A. PORCENTAJE QUE PASA LA MALLA

| | |
|---------------------------|--------------------------|
| % QUE PASA LA MALLA N#10 | 94.53 |
| % QUE PASA LA MALLA N#40 | 90.48 |
| % QUE PASA LA MALLA N#200 | 11.05 |
| TIPO DE SUELO | MATERIAL GRANULAR |

B. TIPO DE MATERIAL GRANULAR

| | |
|-----------------|-----|
| LIMITE LIQUIDO | N.P |
| LIMITE PLASTICO | N.P |
| INDICE DE GRUPO | 0 |

ENTONCES ES UN TIPO DE SUELO

A-2-4(0)

ENSAYO DE COMPACTACION
PROCTOR MODIFICADO(MTC E 115)
PROYECTO :DISEÑO ÓPTIMO DEL PAVIMENTO UTILIZANDO ESCORIA DE HORNOS ELÉCTRICOS COMO MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE EN EL MERCADO LA PERLA-CHIMBOTE

UBICACIÓN : Mercado la Perla, Distrito: Chimbote, Provincia: Santa, Departamento: Ancash

MUESTRA: : Calicata N°4

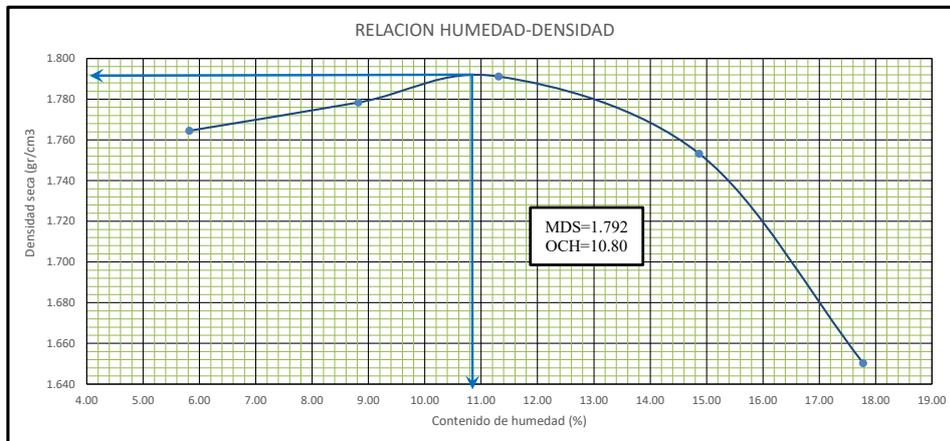
FECHA : JULIO-2021

DETERMINACION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD

| Prueba N° | 01 | | 02 | | 03 | | 04 | | 5 | |
|--------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Peso del tarro (gr) | 27.87 | 26.74 | 27.45 | 27.14 | 27.62 | 28.02 | 28.57 | 27.49 | 26.95 | 26.57 |
| Peso del tarro + Muestra Humeda (gr) | 59.19 | 58.02 | 75.56 | 58.72 | 86.96 | 76.57 | 78.22 | 85.29 | 88.37 | 87.41 |
| Peso del tarro + Muestra seca (gr) | 57.45 | 56.31 | 71.67 | 56.16 | 80.91 | 71.65 | 71.79 | 77.82 | 79.13 | 78.19 |
| Peso del agua (gr) | 1.74 | 1.71 | 3.90 | 2.56 | 6.04 | 4.92 | 6.43 | 7.47 | 9.23 | 9.22 |
| Peso del material seco (gr) | 29.58 | 29.57 | 44.22 | 29.02 | 53.29 | 43.63 | 43.22 | 50.33 | 52.18 | 51.62 |
| Contenido de humedad (%) | 5.87 | 5.77 | 8.81 | 8.83 | 11.34 | 11.28 | 14.89 | 14.85 | 17.70 | 17.86 |
| % Promedio | 5.82 | | 8.82 | | 11.31 | | 14.87 | | 17.78 | |

DETERMINACION DE LA DENSIDAD

| | | | | | |
|---|--------|--------|--------|--------|--------|
| Contenido de humedad (%) | 5.82 | 8.82 | 11.31 | 14.87 | 17.78 |
| Peso del suelo + Molde (gr) | 3693 | 3751 | 3806 | 3836 | 3765 |
| Peso del molde (gr) | 1937 | 1931 | 1931 | 1942 | 1937 |
| Peso del suelo (gr) | 1756 | 1820 | 1875 | 1894 | 1828 |
| Volumen del Molde (cm ³) | 940.45 | 940.45 | 940.45 | 940.45 | 940.45 |
| Densidad de Humedad (gr/cm ³) | 1.867 | 1.935 | 1.994 | 2.014 | 1.944 |
| Densidad seca (gr/cm ³) | 1.764 | 1.778 | 1.791 | 1.753 | 1.650 |

Densidad máxima (gr/cm3)
1.792
Humedad óptima (%)
10.80%




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

PROYECTO : DISEÑO ÓPTIMO DEL PAVIMENTO UTILIZANDO ESCORIA DE HORNOS ELÉCTRICOS COMO MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE EN EL MERCADO LA PERLA-CHIMBOTE

UBICACIÓN: Mercado la Perla, Distrito: Chimbote, Provincia: Santa, Departamento: Ancash

FECHA: JULIO - 2021

MUESTRA : Calicata N°4

RESPONSABLES: TESISISTAS

DATOS DE LA MUESTRA

| | |
|----------------------------|------------------------------|
| MUESTRA: | Terreno Natural-Calicata N°4 |
| CLASIFICACIÓN SUCS: | SP-SM |

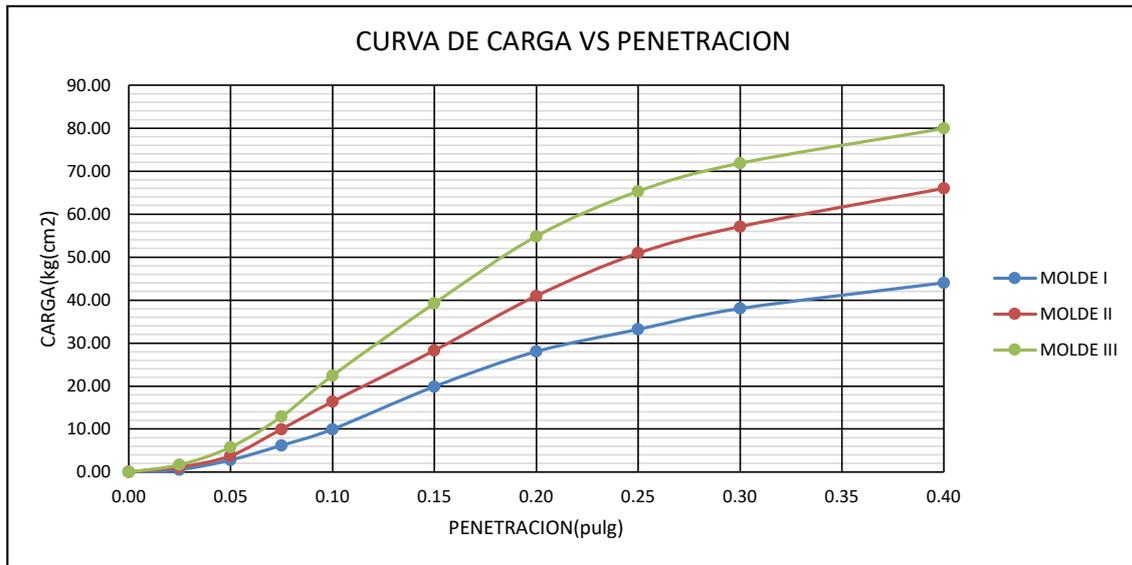
| | |
|-------------------------|-------|
| DENSIDAD MAXIMA: | 1.792 |
| HUMEDAD OPTIMA: | 10.8 |

COMPACTACIÓN

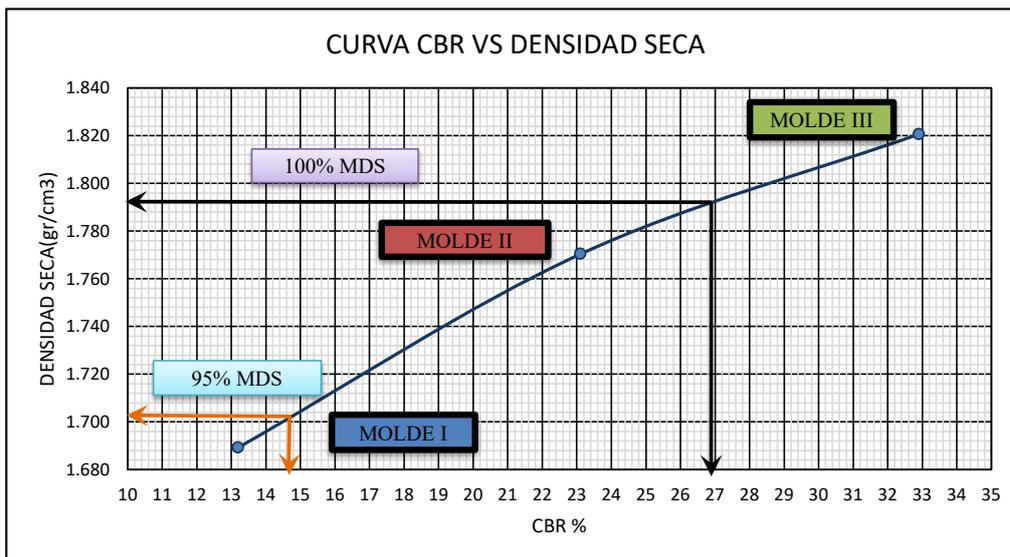
| Molde N° | 1 | 2 | 3 |
|--------------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| N° de golpes por capa | 12 | 26 | 56 |
| CONDICIONES DE LA MUESTRA | Despues de Mojado | Despues de Mojado | Despues de Mojado |
| Peso del molde + suelo húmedo (grs.) | 11197 | 11406 | 11572 |
| Peso del molde (gramos) | 7172 | 7160 | 7172 |
| Peso del suelo húmedo (grs.) | 4025 | 4246 | 4400 |
| Volumen del molde (cc) | 2105 | 2105 | 2105 |
| Densidad húmeda (grs./cm3) | 1.91 | 2.02 | 2.09 |
| Densidad seca (grs./cm3) | 1.689 | 1.770 | 1.821 |
| Tarro N° | 10 | 12 | 16 |
| Peso del tarro + suelo húmedo (grs.) | 100.340 | 109.594 | 117.135 |
| Peso del tarro + suelo seco (grs.) | 91.868 | 99.761 | 105.702 |
| Peso del agua (grs.) | 8.47 | 9.833 | 11.433 |
| Peso del tarro (grs.) | 27.646 | 29.225 | 28.506 |
| Peso del suelo seco (grs.) | 64.22 | 70.54 | 77.20 |
| % de humedad | 13.19 | 13.94 | 14.81 |

PENETRACIÓN

| PENETRACIÓN | | CARGA ESTANDAR kg/cm2 | MOLDE N° I | | MOLDE N° II | | MOLDE N° III | |
|-------------|-------|--------------------------|------------|---------|-------------|---------|--------------|---------|
| | | | CARGA | PRESIÓN | CARGA | PRESIÓN | CARGA | PRESIÓN |
| pulg | mm | | | | | | | |
| 0.000 | 0.00 | | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.000 | 0.00 | 0.000 |
| 0.025 | 0.64 | | 11.40 | 0.58 | 22.70 | 1.156 | 33.40 | 1.701 |
| 0.050 | 1.27 | | 55.20 | 2.81 | 74.60 | 3.799 | 113.80 | 5.796 |
| 0.075 | 1.91 | | 121.80 | 6.20 | 196.30 | 9.997 | 253.20 | 12.895 |
| 0.100 | 2.54 | 70.00 | 195.60 | 9.96 | 321.40 | 16.369 | 440.60 | 22.440 |
| 0.150 | 3.81 | | 390.40 | 19.88 | 555.40 | 28.286 | 770.70 | 39.251 |
| 0.200 | 5.08 | 105.00 | 550.40 | 28.03 | 804.60 | 40.978 | 1076.80 | 54.841 |
| 0.250 | 6.35 | | 651.40 | 33.18 | 999.50 | 50.904 | 1282.40 | 65.312 |
| 0.300 | 7.62 | | 746.80 | 38.03 | 1121.40 | 57.112 | 1410.50 | 71.836 |
| 0.400 | 10.16 | | 864.50 | 44.03 | 1295.80 | 65.995 | 1569.30 | 79.924 |



| MOLDE | Penetración (pulg.) | Presión Aplicada (kg/cm²) | Presión Patrón (Kg/cm²) | C.B.R (%) | Expansión |
|-------|---------------------|---------------------------|-------------------------|-----------|-----------|
| I | 0.1 | 9.96 | 70.00 | 13.2 | 0.00 |
| II | 0.1 | 16.369 | 70.00 | 23.1 | 0.00 |
| III | 0.1 | 22.44 | 70.00 | 32.9 | 0.00 |



| | | |
|---------------------|-------|----------------|
| C.B.R para 100% MDS | 1.792 | 26.81 % |
| C.B.R para 95% MDS | 1.702 | 14.61 % |

Proyecto : DISEÑO ÓPTIMO DEL PAVIMENTO UTILIZANDO ESCORIA DE HORNOS ELÉCTRICOS COMO MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE EN EL MERCADO LA PERLA-CHIMBOTE

UBICACIÓN : Mercado la Perla, Distrito: Chimbote, Provincia: Santa, Departamento: Ancash

Fecha : JULIO-2021

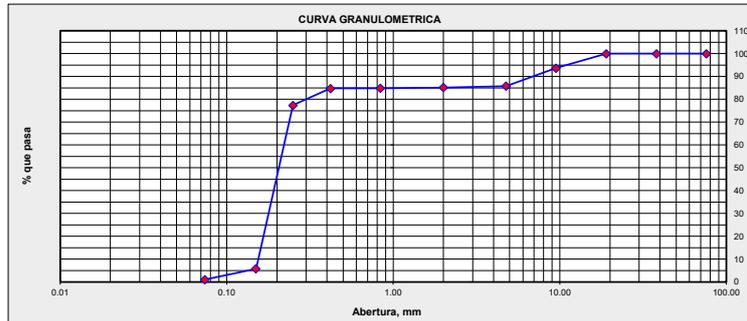
MUESTRA : C1

Responsables : Tesistas

DOSIFICACION : 15% DE ESCORIA

1. ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO (MTC E 107)

| Peso Total de la Muestra (gr) | | 1200.00 | |
|--------------------------------------|---------------|---------------------|--------|
| Peso Final de la Muestra (gr) | | 1196.41 | |
| Mallas | Abertura [mm] | Peso Retenido [grs] | % Pasa |
| 3" | 76.000 | 0.00 | 100.00 |
| 1 1/2" | 38.100 | 0.00 | 100.00 |
| 3/4" | 19.050 | 0.00 | 100.00 |
| 3/8" | 9.525 | 75.46 | 93.69 |
| N° 4 | 4.760 | 94.72 | 85.78 |
| N° 10 | 2.000 | 7.29 | 85.17 |
| N° 20 | 0.840 | 3.64 | 84.86 |
| N° 40 | 0.420 | 1.14 | 84.77 |
| N° 60 | 0.250 | 88.48 | 77.37 |
| N° 100 | 0.150 | 856.49 | 5.78 |
| N° 200 | 0.074 | 56.41 | 1.07 |
| < N° 200 | | 12.78 | 0.00 |



2. LIMITES DE CONSISTENCIA (MTC E 110- MTC E 111)

A. LIMITE LIQUIDO (MTC E 110)

| Procedimiento | Fórmula | Tara No | | | |
|-----------------------------------|-------------|---------|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1. No de Golpes | | | | | |
| 2. Peso Tara, [gr] | | | | | |
| 3. Peso Tara + Suelo Húmedo, [gr] | | | | | |
| 4. Peso Tara + Suelo Seco, [gr] | | | | | |
| 5. Peso Agua, [gr] | (3)-(4) | | | | |
| 6. Peso Suelo Seco, [gr] | (4)-(2) | | | | |
| 7. Contenido de Humedad, [%] | (5)/(6)X100 | | | | |

NO PRESENTA

B. LIMITE PLASTICO (MTC E 111)

| Procedimiento | Fórmula | Tara No | | | |
|-----------------------------------|-------------|---------|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1. Peso Tara, [gr] | | | | | |
| 2. Peso Tara + Suelo Húmedo, [gr] | | | | | |
| 3. Peso Tara + Suelo Seco, [gr] | | | | | |
| 4. Peso Agua, [gr] | (2)-(3) | | | | |
| 5. Peso Suelo Seco, [gr] | (3)-(1) | | | | |
| 6. Contenido de Humedad, [%] | (4)/(5)X100 | | | | |

NO PLASTICO



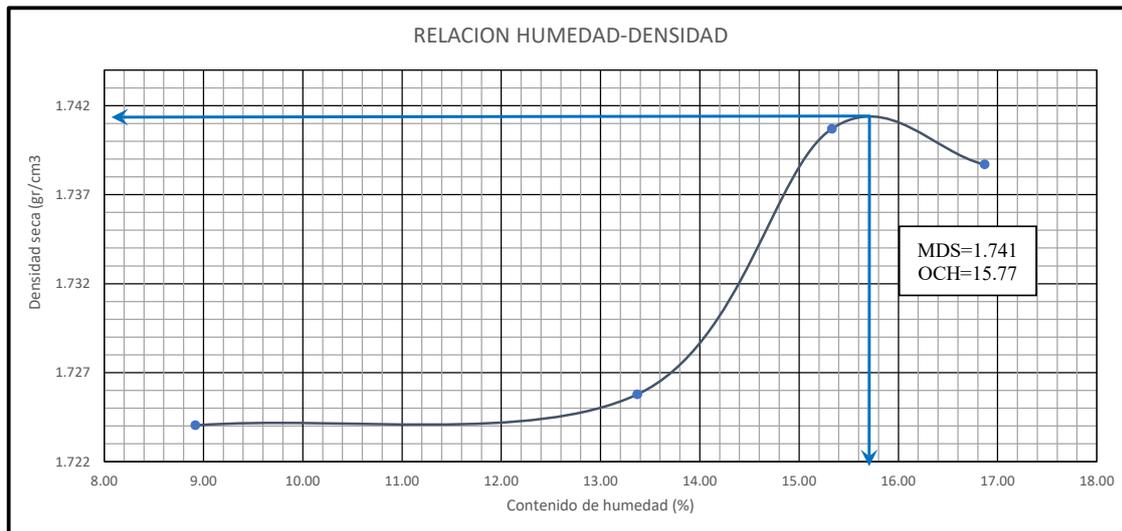
3. GRAVEDAD ESPECIFICA (MTC - E 113)

| Procedimiento | Fórmula | Tara No | | |
|--|---------|---------|--------|--------|
| | | 1 | 2 | 3 |
| 1. Peso Fiola, [gr] | | 172.12 | 176.04 | 184.25 |
| 2. Peso Suelo Seco, [gr] | | 100.00 | 100.00 | 100.00 |
| 3. Peso Fiola + Peso Suelo Seco, [gr] | (1)+(2) | 272.12 | 276.04 | 284.25 |
| 4. Peso Fiola + Agua, [gr] | | 668.45 | 674.42 | 679.66 |
| 5. Peso Fiola + Suelo Sueco + Agua, [gr] | | 731.14 | 737.22 | 742.42 |
| 6. Gravedad Especifica, [gr/cm3] | | 2.680 | 2.688 | 2.685 |
| 7. Gravedad Especifica, [%] | % | | 2.685 | |

RESUMEN

| | |
|---|---------------|
| Grava (No.4 < Diam < 3") | 14.22% |
| Grava Gruesa (3/4" < Diam < 3") | 0.00% |
| Grava Fina (N°4" < Diam < 3/4") | 14.22% |
| Arena (No.200 < Diam < No.4) | 84.71% |
| Arena Gruesa (No.10 < Diam < No.4) | 0.61% |
| Arena Media (No.40 < Diam < No.10) | 0.40% |
| Arena Fina (No.200 < Diam < No.40) | 83.70% |
| Finos (Diam < No.200) | 1.07% |
| Límite Líquido | N.P. |
| Límite Plástico | N.P. |
| Índice Plasticidad | N.P. |
| Peso Específico | 2.685 |

| ENSAYO DE COMPACTACION | | | | | | | | | | |
|--|--|---|-------|--------|-------|--------|-------|---------------|--------|--------------|
| PROCTOR MODIFICADO(MTC E 115) | | | | | | | | | | |
| PROYECTO | | :DISEÑO ÓPTIMO DEL PAVIMENTO UTILIZANDO ESCORIA DE HORNOS ELÉCTRICOS COMO MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE EN EL MERCADO LA PERLA-CHIMBOTE | | | | | | | | |
| UBICACIÓN | | : Mercado la Perla, Distrito: Chimbote, Provincia: Santa, Departamento: Ancash | | | | | | FECHA | | : JULIO-2021 |
| MUESTRA: | | : Calicata N°1 | | | | | | | | |
| DOSIFICACION | | :15% DE ESCORIA | | | | | | | | |
| DETERMINACION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD | | | | | | | | | | |
| Prueba N° | | 01 | | 02 | | 03 | | 04 | | |
| Peso del tarro (gr) | | 27.31 | 28.09 | 27.44 | 27.65 | 27.31 | 28.09 | 28.30 | 27.77 | |
| Peso del tarro + Muestra Humeda (gr) | | 105.46 | 93.08 | 120.83 | 93.74 | 106.25 | 87.53 | 99.65 | 115.87 | |
| Peso del tarro + Muestra seca (gr) | | 99.01 | 87.80 | 109.79 | 85.96 | 95.69 | 79.67 | 89.40 | 103.09 | |
| Peso del agua (gr) | | 6.45 | 5.28 | 11.04 | 7.78 | 10.56 | 7.85 | 10.25 | 12.78 | |
| Peso del material seco (gr) | | 71.70 | 59.71 | 82.35 | 58.32 | 68.39 | 51.58 | 61.10 | 75.32 | |
| Contenido de humedad (%) | | 9.00 | 8.84 | 13.41 | 13.34 | 15.44 | 15.22 | 16.77 | 16.97 | |
| % Promedio | | 8.92 | | 13.37 | | 15.33 | | 16.87 | | |
| DETERMINACION DE LA DENSIDAD | | | | | | | | | | |
| Contenido de humedad (%) | | 8.92 | | 13.37 | | 15.33 | | 16.87 | | |
| Peso del suelo + Molde (gr) | | 3697 | | 3782 | | 3825 | | 3842 | | |
| Peso del molde (gr) | | 1931 | | 1942 | | 1937 | | 1931 | | |
| Peso del suelo (gr) | | 1766 | | 1840 | | 1888 | | 1911 | | |
| Volumen del Molde (cm ³) | | 940.45 | | 940.45 | | 940.45 | | 940.45 | | |
| Densidad de Humedad (gr/cm ³) | | 1.878 | | 1.957 | | 2.008 | | 2.032 | | |
| Densidad seca (gr/cm ³) | | 1.724 | | 1.726 | | 1.741 | | 1.739 | | |
| Densidad máxima (gr/cm³) | | | | | | | | 1.741 | | |
| Humedad óptima (%) | | | | | | | | 15.77% | | |





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

PROYECTO: DISEÑO ÓPTIMO DEL PAVIMENTO UTILIZANDO ESCORIA DE HORNOS ELÉCTRICOS COMO MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE EN EL MERCADO LA PERLA-CHIMBOTE

UBICACIÓN: Mercado la Perla, Distrito: Chimbote, Provincia: Santa, Departamento: Ancash

MUESTRA: Calicata N°1 + 15% de Escoria

FECHA: JULIO - 2021
RESPONSABLES TESISTAS

DATOS DE LA MUESTRA

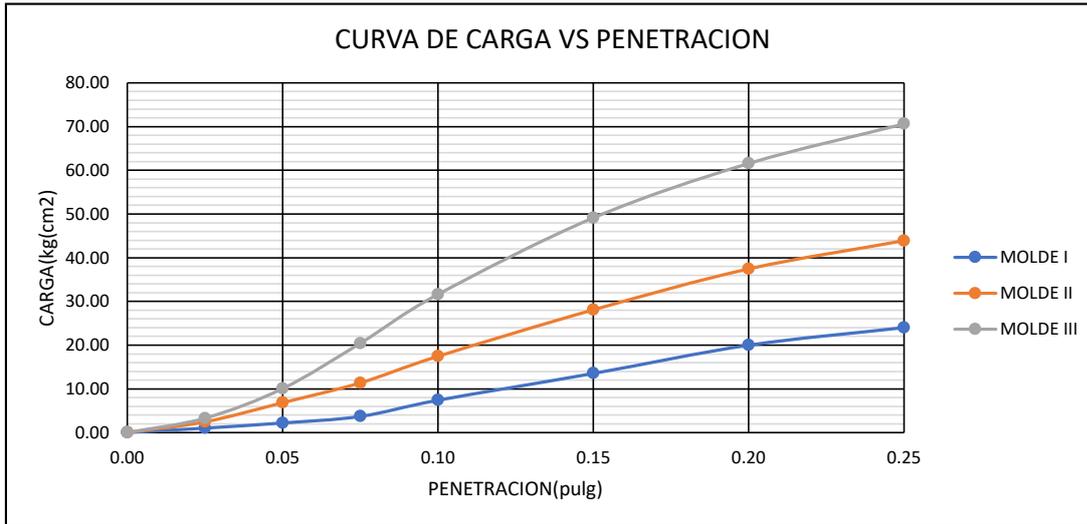
| | | | |
|---------------------|----------------|-------------------------|-------|
| MUESTRA: | Calicata N°1 | DENSIDAD MAXIMA: | 1.741 |
| DOFISICACIÓN | 15% de Escoria | HUMEDAD OPTIMA: | 15.77 |

COMPACTACIÓN

| Molde N° | 1 | 2 | 3 |
|--------------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| N° de golpes por capa | 12 | 26 | 56 |
| CONDICIONES DE LA MUESTRA | Despues de Mojado | Despues de Mojado | Despues de Mojado |
| Peso del molde + suelo húmedo (grs) | 11090 | 11374 | 11528 |
| Peso del molde (gramos) | 7159 | 7160 | 7172 |
| Peso del suelo húmedo (grs.) | 3931 | 4214 | 4356 |
| Volumen del molde (cc) | 2105 | 2105 | 2105 |
| Densidad húmeda (grs./cm3) | 1.87 | 2.00 | 2.07 |
| Densidad seca (grs./cm3) | 1.633 | 1.736 | 1.780 |
| Tarro N° | 10 | 12 | 16 |
| Peso del tarro + suelo húmedo (grs.) | 181.322 | 119.408 | 119.408 |
| Peso del tarro + suelo seco (grs.) | 162.016 | 107.323 | 106.523 |
| Peso del agua (grs.) | 19.31 | 12.085 | 12.885 |
| Peso del tarro (grs.) | 27.770 | 28.301 | 27.305 |
| Peso del suelo seco (grs.) | 134.25 | 79.02 | 79.22 |
| % de humedad | 14.38 | 15.29 | 16.27 |

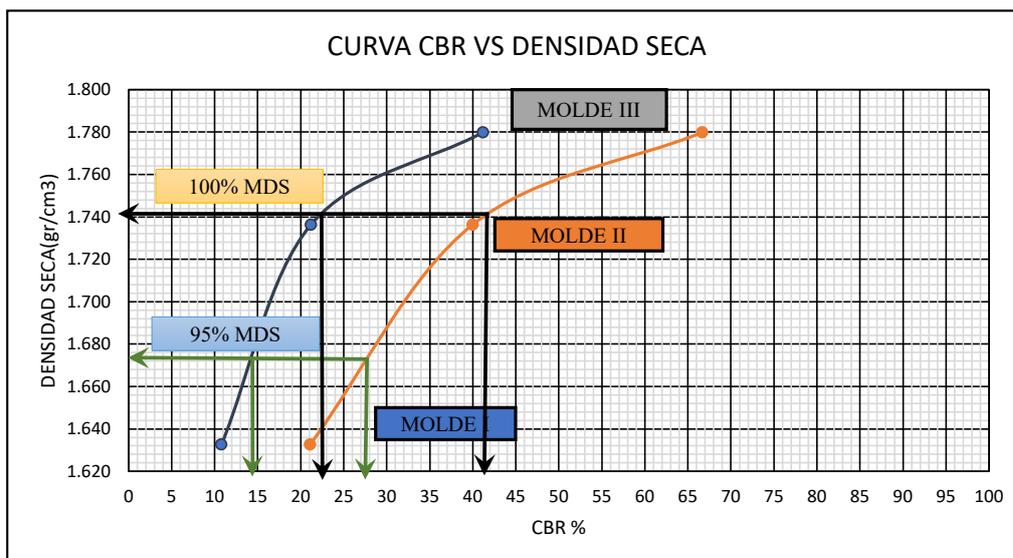
PENETRACIÓN

| PENETRACIÓN | | CARGA ESTANDAR kg/cm2 | MOLDE N° I | | MOLDE N° II | | MOLDE N° III | |
|-------------|------|-----------------------|------------|---------|-------------|---------|--------------|---------|
| | | | CARGA | PRESIÓN | CARGA | PRESIÓN | CARGA | PRESIÓN |
| pulg | mm | | | | | | | |
| 0.000 | 0.00 | | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.000 | 0.00 | 0.000 |
| 0.025 | 0.64 | | 20.10 | 1.02 | 48.20 | 2.455 | 64.80 | 3.300 |
| 0.050 | 1.27 | | 43.20 | 2.20 | 134.20 | 6.835 | 197.60 | 10.064 |
| 0.075 | 1.91 | | 72.60 | 3.70 | 223.40 | 11.378 | 401.30 | 20.438 |
| 0.100 | 2.54 | 70.00 | 145.30 | 7.40 | 342.60 | 17.448 | 620.80 | 31.617 |
| 0.150 | 3.81 | | 265.60 | 13.53 | 551.40 | 28.083 | 964.50 | 49.122 |
| 0.200 | 5.08 | 105.00 | 392.50 | 19.99 | 735.30 | 37.449 | 1208.70 | 61.559 |
| 0.250 | 6.35 | | 471.60 | 24.02 | 862.10 | 43.906 | 1386.40 | 70.609 |



| MOLDE | Penetracion (pulg.) | Presion Aplicada (kg/cm ²) | Presion Patrón(Kg/cm ²) | C.B.R (%) |
|-------|---------------------|--|-------------------------------------|-----------|
| I | 0.1 | 7.40 | 70.00 | 10.8 |
| II | 0.1 | 17.448 | 70.00 | 21.2 |
| III | 0.1 | 31.617 | 70.00 | 41.2 |

| MOLDE | Penetracion (pulg.) | Presion Aplicada (kg/cm ²) | Presion Patrón(Kg/cm ²) | C.B.R (%) |
|-------|---------------------|--|-------------------------------------|-----------|
| I | 0.2 | 19.99 | 105.00 | 21.1 |
| II | 0.2 | 37.449 | 105.00 | 40 |
| III | 0.2 | 61.559 | 105.00 | 66.7 |



| | | 0.1" | 0.2" |
|---------------------|-------|-------|-------|
| C.B.R para 100% MDS | 1.741 | 22.28 | 41.2 |
| C.B.R para 95% MDS | 1.654 | 14.29 | 27.31 |

Proyecto : DISEÑO ÓPTIMO DEL PAVIMENTO UTILIZANDO ESCORIA DE HORNOS ELÉCTRICOS COMO MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE EN EL MERCADO LA PERLA-CHIMBOTE

UBICACIÓN : Mercado la Perla, Distrito: Chimbote, Provincia: Santa, Departamento: Ancash

Fecha : JULIO-2021

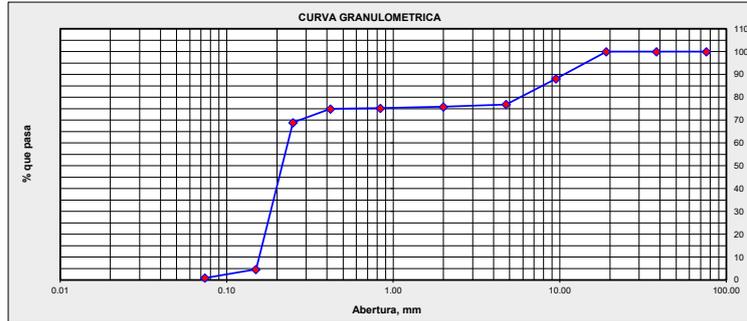
MUESTRA : C1

Responsables : Tesistas

DOSIFICACION : 25% DE ESCORIA

1. ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO (MTC E 107)

| Peso Total de la Muestra (gr) | | 1200.00 | |
|--------------------------------------|---------------|---------------------|--------|
| Peso Final de la Muestra (gr) | | 1199.04 | |
| Mallas | Abertura [mm] | Peso Retenido [grs] | % Pasa |
| 3" | 76.000 | 0.00 | 100.00 |
| 1 1/2" | 38.100 | 0.00 | 100.00 |
| 3/4" | 19.050 | 0.00 | 100.00 |
| 3/8" | 9.525 | 142.33 | 88.13 |
| N° 4 | 4.760 | 135.16 | 76.86 |
| N° 10 | 2.000 | 12.16 | 75.84 |
| N° 20 | 0.840 | 7.18 | 75.24 |
| N° 40 | 0.420 | 3.62 | 74.94 |
| N° 60 | 0.250 | 72.32 | 68.91 |
| N° 100 | 0.150 | 770.91 | 4.62 |
| N° 200 | 0.074 | 45.12 | 0.85 |
| < N° 200 | | 10.24 | 0.00 |



2. LIMITES DE CONSISTENCIA (MTC E 110- MTC E 111)

A. LIMITE LIQUIDO (MTC E 110)

| Procedimiento | Fórmula | Tara No | | | |
|-----------------------------------|-------------|---------|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1. No de Golpes | | | | | |
| 2. Peso Tara, [gr] | | | | | |
| 3. Peso Tara + Suelo Húmedo, [gr] | | | | | |
| 4. Peso Tara + Suelo Seco, [gr] | | | | | |
| 5. Peso Agua, [gr] | (3)-(4) | | | | |
| 6. Peso Suelo Seco, [gr] | (4)-(2) | | | | |
| 7. Contenido de Humedad, [%] | (5)/(6)X100 | | | | |

NO PRESENTA

B. LIMITE PLASTICO (MTC E 111)

| Procedimiento | Fórmula | Tara No | | | |
|-----------------------------------|-------------|---------|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1. Peso Tara, [gr] | | | | | |
| 2. Peso Tara + Suelo Húmedo, [gr] | | | | | |
| 3. Peso Tara + Suelo Seco, [gr] | | | | | |
| 4. Peso Agua, [gr] | (2)-(3) | | | | |
| 5. Peso Suelo Seco, [gr] | (3)-(1) | | | | |
| 6. Contenido de Humedad, [%] | (4)/(5)X100 | | | | |

NO PLASTICO



3. GRAVEDAD ESPECIFICA (MTC - E 113)

| Procedimiento | Fórmula | Tara No | | |
|---|---------|---------|--------|--------|
| | | 1 | 2 | 3 |
| 1. Peso Fiola, [gr] | | 172.12 | 176.04 | 184.25 |
| 2. Peso Suelo Seco, [gr] | | 100.00 | 100.00 | 100.00 |
| 3. Peso Fiola + Peso Suelo Seco, [gr] | (1)+(2) | 272.12 | 276.04 | 284.25 |
| 4. Peso Fiola + Agua, [gr] | | 668.21 | 673.95 | 681.14 |
| 5. Peso Fiola + Suelo Seco + Agua, [gr] | | 731.24 | 736.95 | 744.23 |
| 6. Gravedad Especifica, [gr/cm ³] | | 2.705 | 2.703 | 2.709 |
| 7. Gravedad Especifica, [%] | % | | 2.706 | |

RESUMEN

| | |
|---|---------------|
| Grava (No.4 < Diam < 3") | 23.14% |
| Grava Gruesa (3/4" < Diam < 3") | 0.00% |
| Grava Fina (N°4" < Diam < 3/4") | 23.14% |
| Arena (No.200 < Diam < No.4) | 76.00% |
| Arena Gruesa (No.10 < Diam < No.4) | 1.01% |
| Arena Media (No.40 < Diam < No.10) | 0.90% |
| Arena Fina (No.200 < Diam < No.40) | 74.09% |
| Finos (Diam < No.200) | 0.85% |
| Límite Líquido | N.P. |
| Límite Plástico | N.P. |
| Índice Plasticidad | N.P. |
| Peso Específico | 2.706 |

ENSAYO DE COMPACTACION
PROCTOR MODIFICADO(MTC E 115)
PROYECTO : DISEÑO ÓPTIMO DEL PAVIMENTO UTILIZANDO ESCORIA DE HORNOS ELÉCTRICOS COMO MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE EN EL MERCADO LA PERLA-CHIMBOTE

UBICACIÓN : Mercado la Perla, Distrito: Chimbote, Provincia: Santa, Departamento: Ancash

MUESTRA: : Calicata N°1

FECHA : JULIO-2021

DOSIFICACION : 25% DE ESCORIA

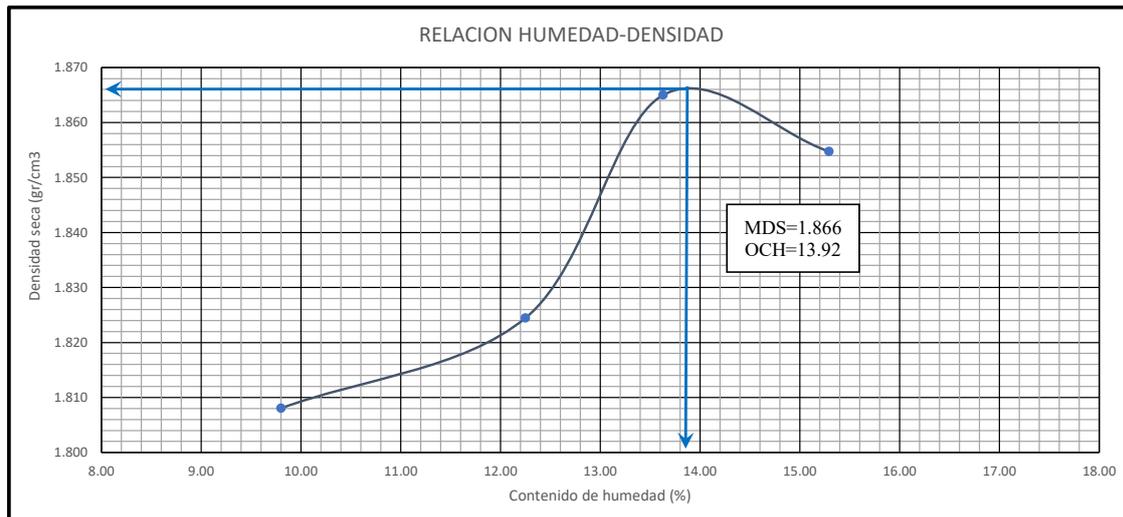
DETERMINACION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD

| Prueba N° | | 01 | | 02 | | 03 | | 04 | |
|---------------------------------|------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|
| Peso del tarro | (gr) | 28.36 | 27.25 | 27.48 | 28.51 | 27.87 | 29.21 | 27.44 | 27.65 |
| Peso del tarro + Muestra Humeda | (gr) | 122.41 | 114.78 | 133.35 | 112.68 | 105.55 | 110.74 | 106.32 | 88.53 |
| Peso del tarro + Muestra seca | (gr) | 113.93 | 107.03 | 121.75 | 103.52 | 96.25 | 100.94 | 95.85 | 80.46 |
| Peso del agua | (gr) | 8.47 | 7.74 | 11.59 | 9.16 | 9.30 | 9.80 | 10.47 | 8.07 |
| Peso del material seco | (gr) | 85.57 | 79.79 | 94.27 | 75.02 | 68.38 | 71.73 | 68.41 | 52.82 |
| Contenido de humedad | % | 9.90 | 9.71 | 12.30 | 12.21 | 13.60 | 13.66 | 15.30 | 15.28 |
| % Promedio | | 9.80 | | 12.25 | | 13.63 | | 15.29 | |

DETERMINACION DE LA DENSIDAD

| | | | | | |
|------------------------|-----------------------|--------|--------|--------|--------|
| Contenido de humedad | % | 9.80 | 12.25 | 13.63 | 15.29 |
| Peso del suelo + Molde | (gr) | 3809 | 3863 | 3924 | 3942 |
| Peso del molde | (gr) | 1942 | 1937 | 1931 | 1931 |
| Peso del suelo | (gr) | 1867 | 1926 | 1993 | 2011 |
| Volumen del Molde | (cm ³) | 940.45 | 940.45 | 940.45 | 940.45 |
| Densidad de Humedad | (gr/cm ³) | 1.985 | 2.048 | 2.119 | 2.138 |
| Densidad seca | (gr/cm ³) | 1.808 | 1.824 | 1.865 | 1.855 |

| | |
|---------------------------------|---------------|
| Densidad máxima (gr/cm3) | 1.866 |
| Humedad óptima (%) | 13.92% |



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

PROYECTO: DISEÑO ÓPTIMO DEL PAVIMENTO UTILIZANDO ESCORIA DE HORNOS ELÉCTRICOS COMO MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE EN EL MERCADO LA PERLA-CHIMBOTE

UBICACIÓN: Mercado la Perla, Distrito: Chimbote, Provincia: Santa, Departamento: Ancash

FECHA: JULIO - 2021

MUESTRA: Calicata N°1 + 25% de Escoria

RESPONSABLES TESISISTAS

DATOS DE LA MUESTRA

| | |
|---------------------|----------------|
| MUESTRA: | Calicata N°1 |
| DOFISICACIÓN | 25% de Escoria |

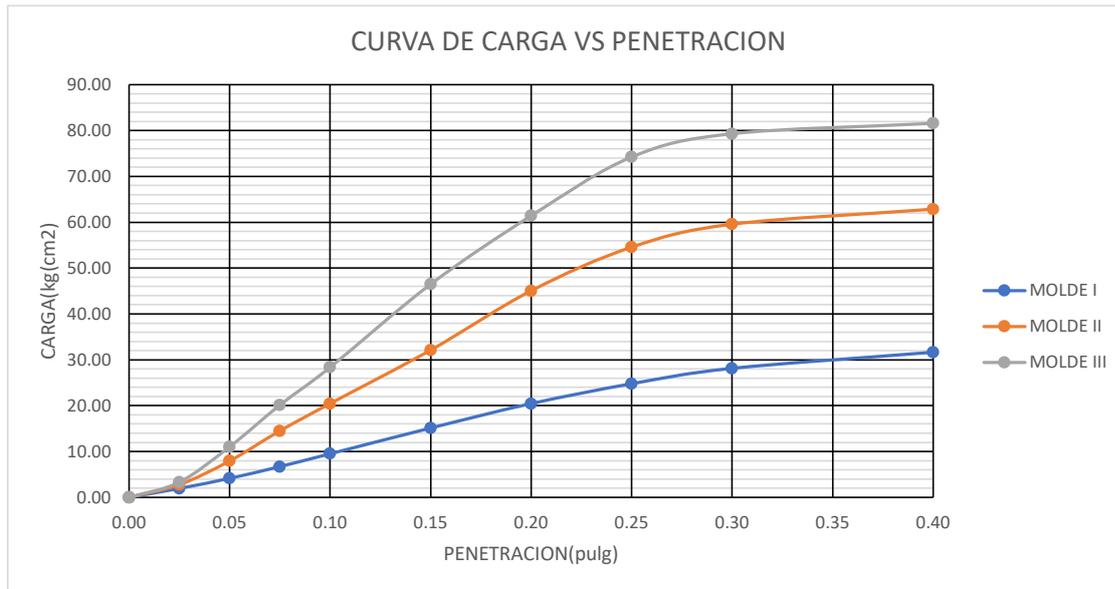
| | |
|-------------------------|-------|
| DENSIDAD MAXIMA: | 1.866 |
| HUMEDAD OPTIMA: | 13.92 |

COMPACTACIÓN

| Molde N° | 1 | 2 | 3 |
|--------------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| N° de golpes por capa | 12 | 26 | 56 |
| CONDICIONES DE LA MUESTRA | Despues de Mojado | Despues de Mojado | Despues de Mojado |
| Peso del molde + suelo húmedo (grs.) | 11260 | 11563 | 11708 |
| Peso del molde (gramos) | 7172 | 7159 | 7160 |
| Peso del suelo húmedo (grs.) | 4088 | 4404 | 4548 |
| Volumen del molde (cc) | 2105 | 2105 | 2105 |
| Densidad húmeda (grs./cm3) | 1.94 | 2.09 | 2.16 |
| Densidad seca (grs./cm3) | 1.724 | 1.841 | 1.891 |
| Tarro N° | 10 | 12 | 16 |
| Peso del tarro + suelo húmedo (grs.) | 99.812 | 95.606 | 95.803 |
| Peso del tarro + suelo seco (grs.) | 91.927 | 87.503 | 87.328 |
| Peso del agua (grs.) | 7.88 | 8.103 | 8.475 |
| Peso del tarro (grs.) | 29.624 | 28.091 | 27.77 |
| Peso del suelo seco (grs.) | 62.30 | 59.41 | 59.56 |
| % de humedad | 12.66 | 13.64 | 14.23 |

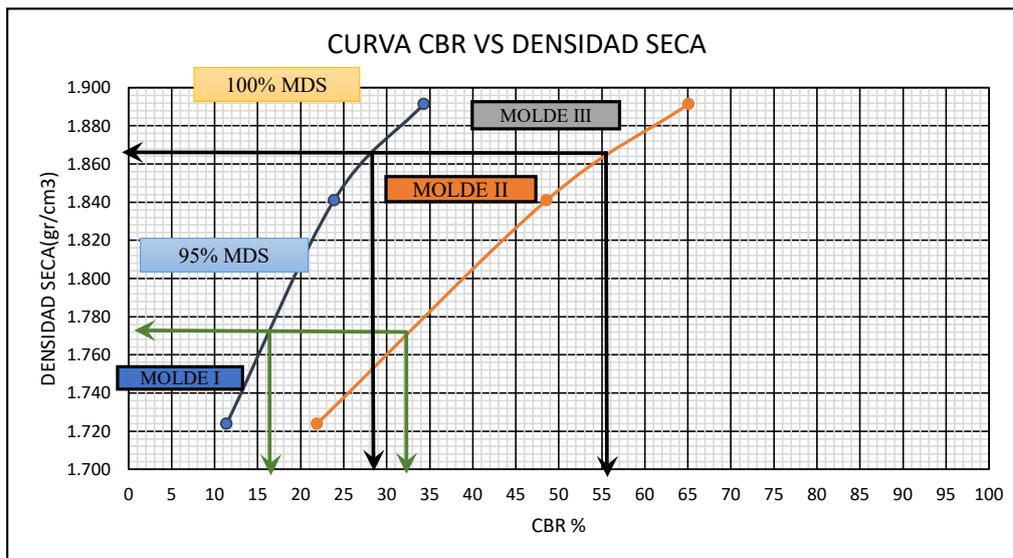
PENETRACIÓN

| PENETRACIÓN | | CARGA ESTANDAR kg/cm2 | MOLDE N° I | | MOLDE N° II | | MOLDE N° III | |
|-------------|-------|--------------------------|------------|---------|-------------|---------|--------------|---------|
| pulg | mm | | CARGA | PRESIÓN | CARGA | PRESIÓN | CARGA | PRESIÓN |
| 0.000 | 0.00 | | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.000 | 0.00 | 0.000 |
| 0.025 | 0.64 | | 38.20 | 1.95 | 54.30 | 2.765 | 65.10 | 3.316 |
| 0.050 | 1.27 | | 81.20 | 4.14 | 155.70 | 7.930 | 216.30 | 11.016 |
| 0.075 | 1.91 | | 131.70 | 6.71 | 284.60 | 14.495 | 395.00 | 20.117 |
| 0.100 | 2.54 | 70.00 | 186.50 | 9.50 | 401.60 | 20.453 | 556.80 | 28.358 |
| 0.150 | 3.81 | | 296.90 | 15.12 | 630.40 | 32.106 | 912.60 | 46.478 |
| 0.200 | 5.08 | 105.00 | 401.60 | 20.45 | 884.60 | 45.052 | 1205.60 | 61.401 |
| 0.250 | 6.35 | | 486.60 | 24.78 | 1071.50 | 54.571 | 1457.50 | 74.230 |
| 0.300 | 7.62 | | 552.60 | 28.14 | 1169.60 | 59.567 | 1557.10 | 79.302 |
| 0.400 | 10.16 | | 621.50 | 31.65 | 1234.10 | 62.852 | 1601.60 | 81.569 |



| MOLDE | Penetracion (pulg.) | Presion Aplicada (kg/cm ²) | Presion Patrón(Kg/cm ²) | C.B.R (%) |
|-------|---------------------|--|-------------------------------------|-----------|
| I | 0.1 | 9.50 | 70.00 | 11.4 |
| II | 0.1 | 20.453 | 70.00 | 23.89 |
| III | 0.1 | 28.358 | 70.00 | 34.3 |

| MOLDE | Penetracion (pulg.) | Presion Aplicada (kg/cm ²) | Presion Patrón(Kg/cm ²) | C.B.R (%) |
|-------|---------------------|--|-------------------------------------|-----------|
| I | 0.1 | 20.45 | 105.00 | 21.9 |
| II | 0.1 | 45.052 | 105.00 | 48.6 |
| III | 0.1 | 61.401 | 105.00 | 65.1 |



| | | 0.1" | 0.2" |
|---------------------|-------|--------------|--------------|
| C.B.R para 100% MDS | 1.866 | 28.12 | 55.50 |
| C.B.R para 95% MDS | 1.773 | 16.21 | 32.1 |

Proyecto : DISEÑO ÓPTIMO DEL PAVIMENTO UTILIZANDO ESCORIA DE HORNOS ELÉCTRICOS COMO MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE EN EL MERCADO LA PERLA-CHIMBOTE

UBICACIÓN : Mercado la Perla, Distrito: Chimbote, Provincia: Santa, Departamento: Ancash

Fecha : JULIO-2021

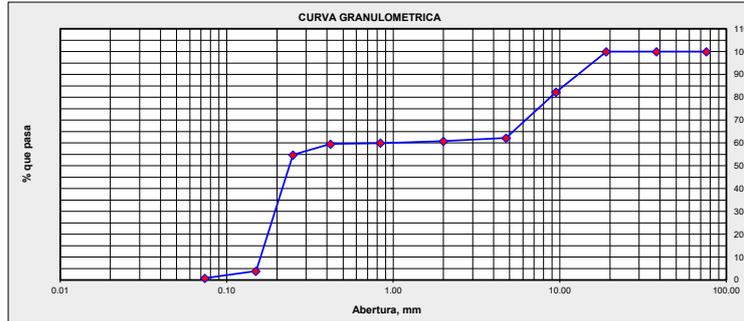
MUESTRA : C1

Responsables : Tesistas

DOSIFICACION : 40% DE ESCORIA

1. ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO (MTC E 107)

| Peso Total de la Muestra(gr) | | 1200.00 | |
|-------------------------------------|---------------|---------------------|--------|
| Peso Final de la Muestra(gr) | | 1197.42 | |
| Mallas | Abertura [mm] | Peso Retenido [grs] | % Pasa |
| 3" | 76.000 | 0.00 | 100.00 |
| 1 1/2" | 38.100 | 0.00 | 100.00 |
| 3/4" | 19.050 | 0.00 | 100.00 |
| 3/8" | 9.525 | 212.15 | 82.28 |
| N° 4 | 4.760 | 240.64 | 62.19 |
| N° 10 | 2.000 | 17.25 | 60.75 |
| N° 20 | 0.840 | 9.54 | 59.95 |
| N° 40 | 0.420 | 5.36 | 59.50 |
| N° 60 | 0.250 | 56.77 | 54.76 |
| N° 100 | 0.150 | 609.81 | 3.83 |
| N° 200 | 0.074 | 36.23 | 0.81 |
| < N° 200 | | 9.67 | 0.00 |



2. LIMITES DE CONSISTENCIA (MTC E 110- MTC E 111)

A. LIMITE LIQUIDO(MTC E 110)

| Procedimiento | Fórmula | Tara No | | | |
|-----------------------------------|-------------|---------|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1. No de Golpes | | | | | |
| 2. Peso Tara, [gr] | | | | | |
| 3. Peso Tara + Suelo Húmedo, [gr] | | | | | |
| 4. Peso Tara + Suelo Seco, [gr] | | | | | |
| 5. Peso Agua, [gr] | (3)-(4) | | | | |
| 6. Peso Suelo Seco, [gr] | (4)-(2) | | | | |
| 7. Contenido de Humedad, [%] | (5)/(6)X100 | | | | |

NO PRESENTA

B. LIMITE PLASTICO(MTC E 111)

| Procedimiento | Fórmula | Tara No | | | |
|-----------------------------------|-------------|---------|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1. Peso Tara, [gr] | | | | | |
| 2. Peso Tara + Suelo Húmedo, [gr] | | | | | |
| 3. Peso Tara + Suelo Seco, [gr] | | | | | |
| 4. Peso Agua, [gr] | (2)-(3) | | | | |
| 5. Peso Suelo Seco, [gr] | (3)-(1) | | | | |
| 6. Contenido de Humedad, [%] | (4)/(5)X100 | | | | |

NO PLASTICO



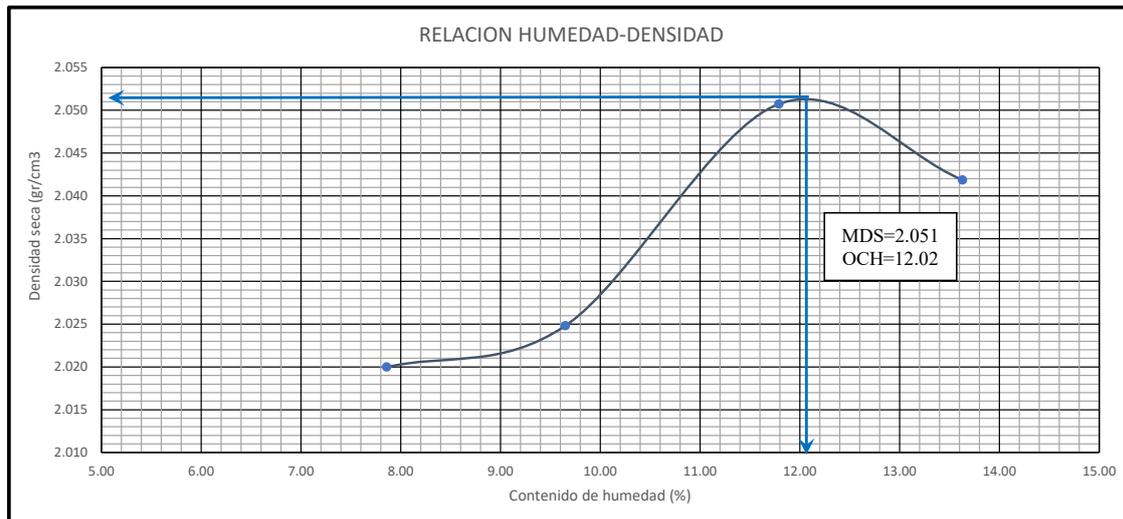
3. GRAVEDAD ESPECIFICA (MTC - E 113)

| Procedimiento | Fórmula | Tara No | | |
|--|---------|---------|--------|--------|
| | | 1 | 2 | 3 |
| 1. Peso Fiola, [gr] | | 172.12 | 176.04 | 184.25 |
| 2. Peso Suelo Seco, [gr] | | 100.00 | 100.00 | 100.00 |
| 3. Peso Fiola + Peso Suelo Seco, [gr] | (1)+(2) | 272.12 | 276.04 | 284.25 |
| 4. Peso Fiola + Agua, [gr] | | 670.33 | 674.32 | 679.24 |
| 5. Peso Fiola + Suelo Sueco + Agua, [gr] | | 734.55 | 738.54 | 743.41 |
| 6. Gravedad Especifica, [gr/cm3] | | 2.795 | 2.795 | 2.791 |
| 7. Gravedad Especifica, [%] | % | | 2.794 | |

RESUMEN

| | |
|---|---------------|
| Grava (No.4 < Diam < 3") | 37.81% |
| Grava Gruesa (3/4" < Diam < 3") | 0.00% |
| Grava Fina (N°4" < Diam < 3/4") | 37.81% |
| Arena (No.200 < Diam < No.4) | 61.38% |
| Arena Gruesa (No.10 < Diam < No.4) | 1.44% |
| Arena Media (No.40 < Diam < No.10) | 1.24% |
| Arena Fina (No.200 < Diam < No.40) | 58.69% |
| Finos (Diam < No.200) | 0.81% |
| Límite Líquido | N.P. |
| Límite Plástico | N.P. |
| Índice Plasticidad | N.P. |
| Peso Especifico | 2.794 |

| ENSAYO DE COMPACTACION | | | | | | | | | | |
|--|---|--------|--------|--------|--------|--------|---------------|--------------|--|--|
| PROCTOR MODIFICADO(MTC E 115) | | | | | | | | | | |
| PROYECTO | :DISEÑO ÓPTIMO DEL PAVIMENTO UTILIZANDO ESCORIA DE HORNOS ELÉCTRICOS COMO MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE EN EL MERCADO LA PERLA-CHIMBOTE | | | | | | | | | |
| UBICACIÓN | : Mercado la Perla, Distrito: Chimbote, Provincia: Santa, Departamento: Ancash | | | | | | | | | |
| MUESTRA: | : Calicata N°1 | | | | | | FECHA | : JULIO-2021 | | |
| DOSIFICACION | :40% DE ESCORIA | | | | | | | | | |
| DETERMINACION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD | | | | | | | | | | |
| Prueba N° | 01 | | 02 | | 03 | | 04 | | | |
| Peso del tarro (gr) | 27.31 | 28.09 | 27.44 | 27.65 | 28.07 | 27.38 | 28.30 | 27.77 | | |
| Peso del tarro + Muestra Humeda (gr) | 109.26 | 147.12 | 137.69 | 120.55 | 112.99 | 124.82 | 102.28 | 110.86 | | |
| Peso del tarro + Muestra seca (gr) | 103.26 | 138.49 | 128.03 | 112.35 | 104.13 | 114.43 | 93.52 | 100.78 | | |
| Peso del agua (gr) | 6.00 | 8.63 | 9.66 | 8.21 | 8.86 | 10.39 | 8.77 | 10.09 | | |
| Peso del material seco (gr) | 75.95 | 110.40 | 100.59 | 84.70 | 76.06 | 87.05 | 65.22 | 73.01 | | |
| Contenido de humedad (%) | 7.90 | 7.82 | 9.60 | 9.69 | 11.65 | 11.93 | 13.44 | 13.81 | | |
| % Promedio | 7.86 | | 9.65 | | 11.79 | | 13.63 | | | |
| DETERMINACION DE LA DENSIDAD | | | | | | | | | | |
| Contenido de humedad (%) | 7.86 | | 9.65 | | 11.79 | | 13.63 | | | |
| Peso del suelo + Molde (gr) | 3991 | | 4025 | | 4087 | | 4124 | | | |
| Peso del molde (gr) | 1942 | | 1937 | | 1931 | | 1942 | | | |
| Peso del suelo (gr) | 2049 | | 2088 | | 2156 | | 2182 | | | |
| Volumen del Molde (cm ³) | 940.45 | | 940.45 | | 940.45 | | 940.45 | | | |
| Densidad de Humedad (gr/cm ³) | 2.179 | | 2.220 | | 2.293 | | 2.320 | | | |
| Densidad seca (gr/cm ³) | 2.020 | | 2.025 | | 2.051 | | 2.042 | | | |
| Densidad máxima (gr/cm³) | | | | | | | 2.051 | | | |
| Humedad óptima (%) | | | | | | | 12.02% | | | |



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

PROYECTO: DISEÑO ÓPTIMO DEL PAVIMENTO UTILIZANDO ESCORIA DE HORNOS ELÉCTRICOS COMO MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE EN EL MERCADO LA PERLA-CHIMBOTE
UBICACIÓN: Mercado la Perla, Distrito: Chimbote, Provincia: Santa, Departamento: Ancash
MUESTRA: Calicata N°1 + 40% de Escoria

FECHA: JULIO - 2021
RESPONSABLES TESISTAS

DATOS DE LA MUESTRA

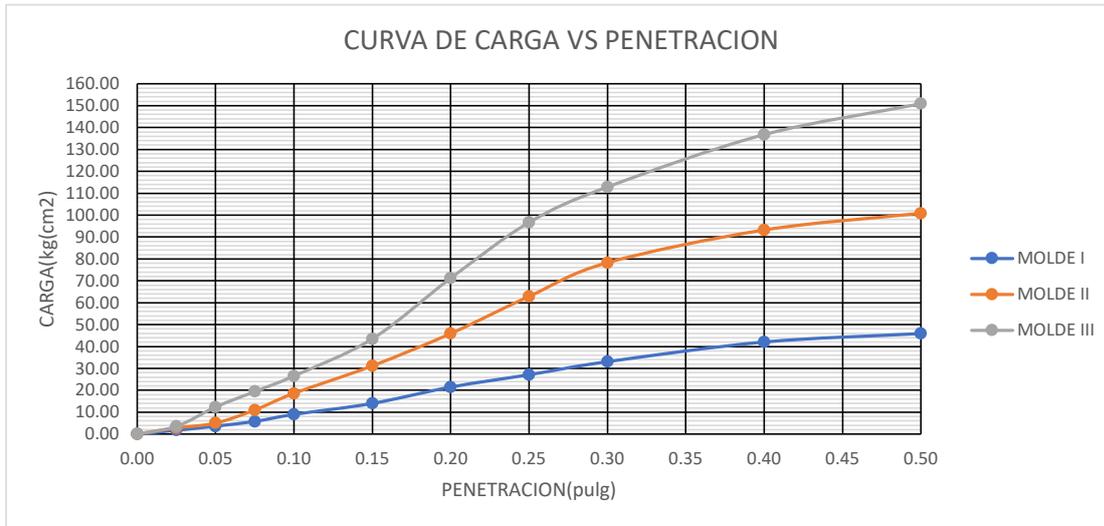
| | | | |
|---------------------|----------------|-------------------------|-------|
| MUESTRA: | Calicata N°1 | DENSIDAD MAXIMA: | 2.051 |
| DOFISICACIÓN | 40% de Escoria | HUMEDAD OPTIMA: | 12.02 |

COMPACTACIÓN

| Molde N° | 1 | 2 | 3 |
|--------------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| N° de golpes por capa | 12 | 26 | 56 |
| CONDICIONES DE LA MUESTRA | Despues de Mojado | Despues de Mojado | Despues de Mojado |
| Peso del molde + suelo húmedo (grs) | 11559 | 11846 | 11653 |
| Peso del molde (gramos) | 7172 | 7159 | 6721 |
| Peso del suelo húmedo (grs.) | 4387 | 4687 | 4932 |
| Volumen del molde (cc) | 2105 | 2105 | 2105 |
| Densidad húmeda (grs./cm3) | 2.08 | 2.23 | 2.34 |
| Densidad seca (grs./cm3) | 1.883 | 2.002 | 2.087 |
| Tarro N° | 10 | 12 | 16 |
| Peso del tarro + suelo húmedo (grs.) | 90.413 | 123.936 | 139.848 |
| Peso del tarro + suelo seco (grs.) | 84.314 | 114.276 | 127.592 |
| Peso del agua (grs.) | 6.10 | 9.66 | 12.256 |
| Peso del tarro (grs.) | 27.305 | 28.067 | 27.65 |
| Peso del suelo seco (grs.) | 57.01 | 86.21 | 99.95 |
| % de humedad | 10.70 | 11.21 | 12.26 |

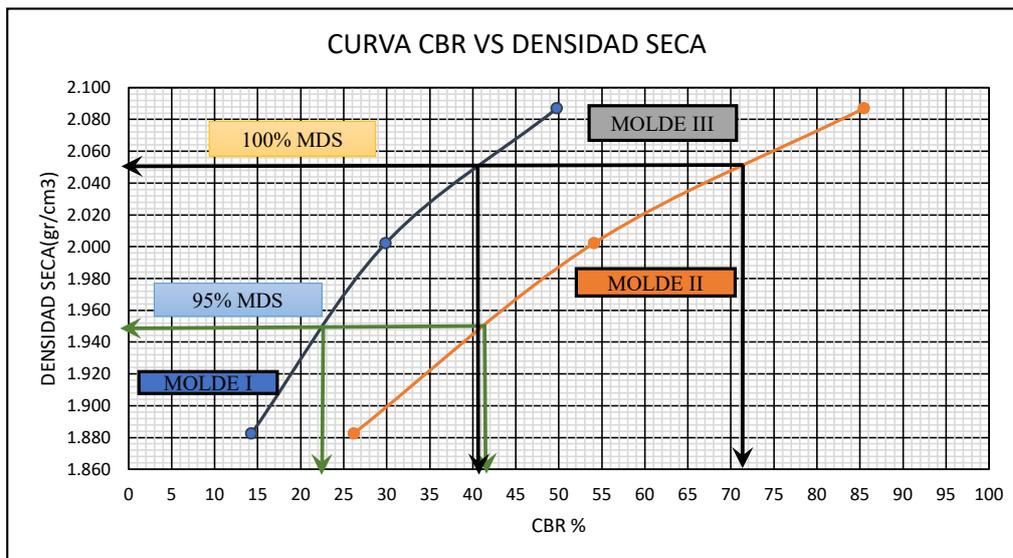
PENETRACIÓN

| PENETRACIÓN | | CARGA ESTANDAR kg/cm2 | MOLDE N° I | | MOLDE N° II | | MOLDE N° III | |
|-------------|-------|-----------------------|------------|---------|-------------|---------|--------------|---------|
| pulg | mm | | CARGA | PRESIÓN | CARGA | PRESIÓN | CARGA | PRESIÓN |
| 0.000 | 0.00 | | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.000 | 0.00 | 0.000 |
| 0.025 | 0.64 | | 33.40 | 1.70 | 55.10 | 2.806 | 68.70 | 3.499 |
| 0.050 | 1.27 | | 71.20 | 3.63 | 98.40 | 5.011 | 242.30 | 12.340 |
| 0.075 | 1.91 | | 113.20 | 5.77 | 215.80 | 10.991 | 380.90 | 19.399 |
| 0.100 | 2.54 | 70.00 | 176.20 | 8.97 | 365.29 | 18.604 | 521.40 | 26.555 |
| 0.150 | 3.81 | | 274.60 | 13.99 | 611.70 | 31.154 | 853.40 | 43.463 |
| 0.200 | 5.08 | 105.00 | 421.60 | 21.47 | 901.40 | 45.908 | 1397.80 | 71.189 |
| 0.250 | 6.35 | | 532.40 | 27.11 | 1234.70 | 62.883 | 1897.70 | 96.649 |
| 0.300 | 7.62 | | 649.20 | 33.06 | 1537.00 | 78.279 | 2215.60 | 112.840 |
| 0.400 | 10.16 | | 825.40 | 42.04 | 1830.20 | 93.211 | 2685.50 | 136.771 |
| 0.500 | 12.70 | | 901.50 | 45.91 | 1980.60 | 100.871 | 2962.40 | 150.874 |



| MOLDE | Penetracion (pulg.) | Presion Aplicada (kg/cm ²) | Presion Patrón(Kg/cm ²) | C.B.R (%) |
|-------|---------------------|--|-------------------------------------|-----------|
| I | 0.1 | 8.97 | 70.00 | 14.3 |
| II | 0.1 | 18.604 | 70.00 | 29.9 |
| III | 0.1 | 26.555 | 70.00 | 49.8 |

| MOLDE | Penetracion (pulg.) | Presion Aplicada (kg/cm ²) | Presion Patrón(Kg/cm ²) | C.B.R (%) |
|-------|---------------------|--|-------------------------------------|-----------|
| I | 0.1 | 21.47 | 105.00 | 26.2 |
| II | 0.1 | 45.908 | 105.00 | 54.10 |
| III | 0.1 | 71.189 | 105.00 | 85.5 |



| | | 0.1" | 0.2" |
|---------------------|-------|-------|------|
| C.B.R para 100% MDS | 2.051 | 40.50 | 71.1 |
| C.B.R para 95% MDS | 1.948 | 22.71 | 41.1 |

Proyecto : DISEÑO ÓPTIMO DEL PAVIMENTO UTILIZANDO ESCORIA DE HORNOS ELÉCTRICOS COMO MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE EN EL MERCADO LA PERLA-CHIMBOTE

UBICACIÓN : Mercado la Perla, Distrito: Chimbote, Provincia: Santa, Departamento: Ancash

Fecha : JULIO-2021

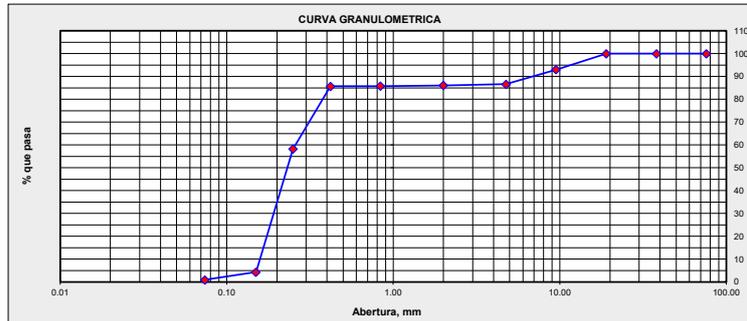
MUESTRA : C2

Responsables : Tesistas

DOSIFICACION : 15% DE ESCORIA

1. ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO (MTC E 107)

| Peso Total de la Muestra(gr) | | 1200.00 | |
|-------------------------------------|---------------|---------------------|--------|
| Peso Final de la Muestra(gr) | | 1196.19 | |
| Mallas | Abertura [mm] | Peso Retenido [grs] | % Pasa |
| 3" | 76.000 | 0.00 | 100.00 |
| 1 1/2" | 38.100 | 0.00 | 100.00 |
| 3/4" | 19.050 | 0.00 | 100.00 |
| 3/8" | 9.525 | 83.94 | 92.98 |
| N° 4 | 4.760 | 76.12 | 86.62 |
| N° 10 | 2.000 | 6.45 | 86.08 |
| N° 20 | 0.840 | 4.05 | 85.74 |
| N° 40 | 0.420 | 1.17 | 85.64 |
| N° 60 | 0.250 | 327.45 | 58.27 |
| N° 100 | 0.150 | 645.61 | 4.30 |
| N° 200 | 0.074 | 39.74 | 0.97 |
| < N° 200 | | 11.66 | 0.00 |



2. LIMITES DE CONSISTENCIA (MTC E 110- MTC E 111)

A. LIMITE LIQUIDO(MTC E 110)

| Procedimiento | Fórmula | Tara No | | | |
|-----------------------------------|-------------|---------|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1. No de Golpes | | | | | |
| 2. Peso Tara, [gr] | | | | | |
| 3. Peso Tara + Suelo Húmedo, [gr] | | | | | |
| 4. Peso Tara + Suelo Seco, [gr] | | | | | |
| 5. Peso Agua, [gr] | (3)-(4) | | | | |
| 6. Peso Suelo Seco, [gr] | (4)-(2) | | | | |
| 7. Contenido de Humedad, [%] | (5)/(6)X100 | | | | |

B. LIMITE PLASTICO(MTC E 111)

| Procedimiento | Fórmula | Tara No | | | |
|-----------------------------------|-------------|---------|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1. Peso Tara, [gr] | | | | | |
| 2. Peso Tara + Suelo Húmedo, [gr] | | | | | |
| 3. Peso Tara + Suelo Seco, [gr] | | | | | |
| 4. Peso Agua, [gr] | (2)-(3) | | | | |
| 5. Peso Suelo Seco, [gr] | (3)-(1) | | | | |
| 6. Contenido de Humedad, [%] | (4)/(5)X100 | | | | |



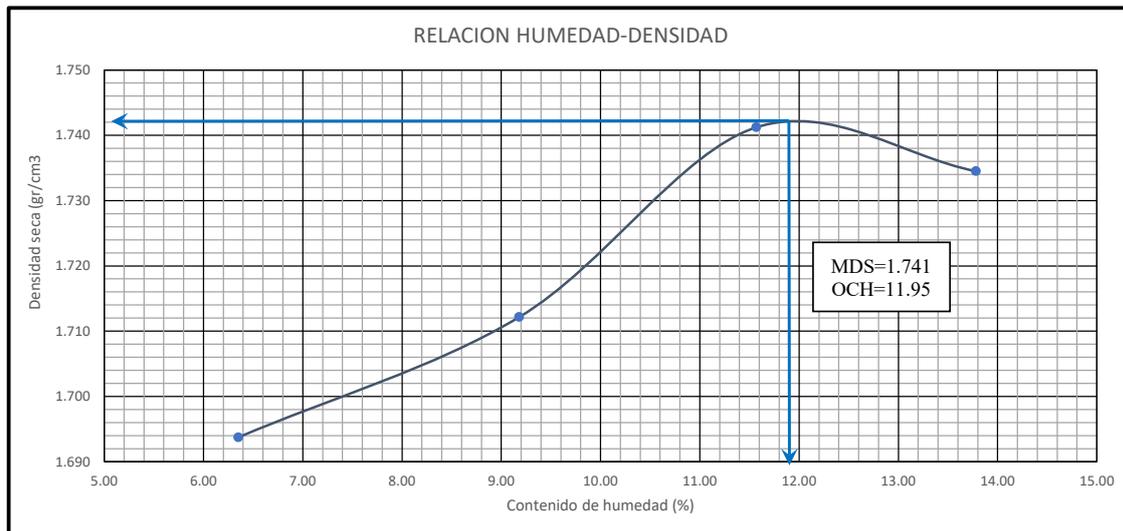
3. GRAVEDAD ESPECIFICA (MTC - E 113)

| Procedimiento | Fórmula | Tara No | | |
|--|---------|---------|--------|--------|
| | | 1 | 2 | 3 |
| 1. Peso Fiola, [gr] | | 175.45 | 183.75 | 176.04 |
| 2. Peso Suelo Seco, [gr] | | 100.00 | 100.00 | 100.00 |
| 3. Peso Fiola + Peso Suelo Seco, [gr] | (1)-(2) | 275.45 | 283.75 | 276.04 |
| 4. Peso Fiola + Agua, [gr] | | 669.32 | 680.14 | 671.62 |
| 5. Peso Fiola + Suelo Sueco + Agua, [gr] | | 732.03 | 742.84 | 734.39 |
| 6. Gravedad Especifica, [gr/cm3] | | 2.682 | 2.681 | 2.686 |
| 7. Gravedad Especifica, [%] | % | | 2.683 | |

RESUMEN

| | |
|---|---------------|
| Grava (No.4 < Diam < 3") | 13.38% |
| Grava Gruesa (3/4" < Diam < 3") | 0.00% |
| Grava Fina (N°4" < Diam < 3/4") | 13.38% |
| Arena (No.200 < Diam < No.4) | 85.64% |
| Arena Gruesa (No.10 < Diam < No.4) | 0.54% |
| Arena Media (No.40 < Diam < No.10) | 0.44% |
| Arena Fina (No.200 < Diam < No.40) | 84.67% |
| Finos (Diam < No.200) | 0.97% |
| Límite Líquido | N.P. |
| Límite Plástico | N.P. |
| Índice Plasticidad | N.P. |
| Peso Especifico | 2.683 |

| ENSAYO DE COMPACTACION | | | | | | | | | | |
|--|-----------------------|---|-------|--------|-------|--------|--------|---------------|--------|--------------|
| PROCTOR MODIFICADO(MTC E 115) | | | | | | | | | | |
| PROYECTO | | :DISEÑO ÓPTIMO DEL PAVIMENTO UTILIZANDO ESCORIA DE HORNOS ELÉCTRICOS COMO MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE EN EL MERCADO LA PERLA-CHIMBOTE | | | | | | | | |
| UBICACIÓN | | : Mercado la Perla, Distrito: Chimbote, Provincia: Santa, Departamento: Ancash | | | | | | FECHA | | : JULIO-2021 |
| MUESTRA: | | : Calicata N°2 | | | | | | | | |
| DOSIFICACION | | :15% DE ESCORIA | | | | | | | | |
| DETERMINACION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD | | | | | | | | | | |
| Prueba N° | | 01 | | 02 | | 03 | | 04 | | |
| Peso del tarro | (gr) | 27.31 | 28.09 | 27.44 | 27.65 | 28.07 | 27.38 | 28.30 | 27.77 | |
| Peso del tarro + Muestra Humeda | (gr) | 109.43 | 95.50 | 115.93 | 83.26 | 102.06 | 107.36 | 120.21 | 119.63 | |
| Peso del tarro + Muestra seca | (gr) | 104.59 | 91.42 | 108.52 | 78.57 | 94.41 | 99.05 | 109.17 | 108.41 | |
| Peso del agua | (gr) | 4.84 | 4.07 | 7.41 | 4.69 | 7.66 | 8.31 | 11.04 | 11.22 | |
| Peso del material seco | (gr) | 77.29 | 63.33 | 81.08 | 50.92 | 66.34 | 71.67 | 80.87 | 80.64 | |
| Contenido de humedad | % | 6.26 | 6.43 | 9.14 | 9.22 | 11.55 | 11.59 | 13.65 | 13.91 | |
| % Promedio | | 6.35 | | 9.18 | | 11.57 | | 13.78 | | |
| DETERMINACION DE LA DENSIDAD | | | | | | | | | | |
| Contenido de humedad | % | 6.35 | | 9.18 | | 11.57 | | 13.78 | | |
| Peso del suelo + Molde | (gr) | 3625 | | 3700 | | 3764 | | 3787 | | |
| Peso del molde | (gr) | 1931 | | 1942 | | 1937 | | 1931 | | |
| Peso del suelo | (gr) | 1694 | | 1758 | | 1827 | | 1856 | | |
| Volumen del Molde | (cm ³) | 940.45 | | 940.45 | | 940.45 | | 940.45 | | |
| Densidad de Humedad | (gr/cm ³) | 1.801 | | 1.869 | | 1.943 | | 1.974 | | |
| Densidad seca | (gr/cm ³) | 1.694 | | 1.712 | | 1.741 | | 1.735 | | |
| Densidad máxima (gr/cm3) | | | | | | | | 1.741 | | |
| Humedad óptima (%) | | | | | | | | 11.95% | | |



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

PROYECTO : DISEÑO ÓPTIMO DEL PAVIMENTO UTILIZANDO ESCORIA DE HORNOS ELÉCTRICOS COMO MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE EN EL MERCADO LA PERLA-CHIMBOTE

UBICACIÓN: Mercado la Perla, Distrito: Chimbote, Provincia: Santa, Departamento: Ancash

FECHA: JULIO - 2021

MUESTRA : Calicata N°2 + 15% de Escoria

RESPONSABLES: TESISISTAS

DATOS DE LA MUESTRA

| | |
|---------------------|----------------|
| MUESTRA: | Calicata N°2 |
| DOFISICACIÓN | 15% de Escoria |

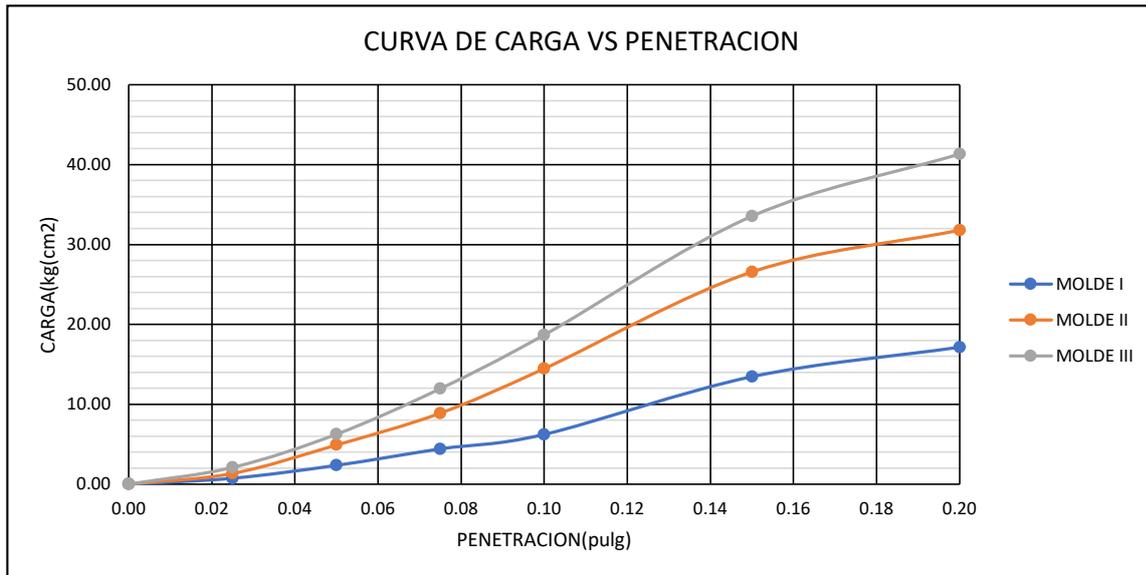
| | |
|-------------------------|-------|
| DENSIDAD MAXIMA: | 1.741 |
| HUMEDAD OPTIMA: | 11.95 |

COMPACTACIÓN

| Molde N° | 1 | 2 | 3 |
|--------------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| N° de golpes por capa | 12 | 26 | 56 |
| CONDICIONES DE LA MUESTRA | Despues de Mojado | Despues de Mojado | Despues de Mojado |
| Peso del molde + suelo húmedo (grs) | 11097 | 11382 | 11497 |
| Peso del molde (gramos) | 7160 | 7159 | 7172 |
| Peso del suelo húmedo (grs.) | 3937 | 4223 | 4325 |
| Volumen del molde (cc) | 2105 | 2105 | 2105 |
| Densidad húmeda (grs./cm3) | 1.87 | 2.01 | 2.05 |
| Densidad seca (grs./cm3) | 1.625 | 1.724 | 1.758 |
| Tarro N° | 10 | 12 | 16 |
| Peso del tarro + suelo húmedo (grs.) | 158.765 | 206.529 | 146.637 |
| Peso del tarro + suelo seco (grs.) | 141.754 | 181.435 | 129.423 |
| Peso del agua (grs.) | 17.01 | 25.094 | 17.214 |
| Peso del tarro (grs.) | 29.258 | 28.091 | 27.305 |
| Peso del suelo seco (grs.) | 112.50 | 153.34 | 102.12 |
| % de humedad | 15.12 | 16.36 | 16.86 |

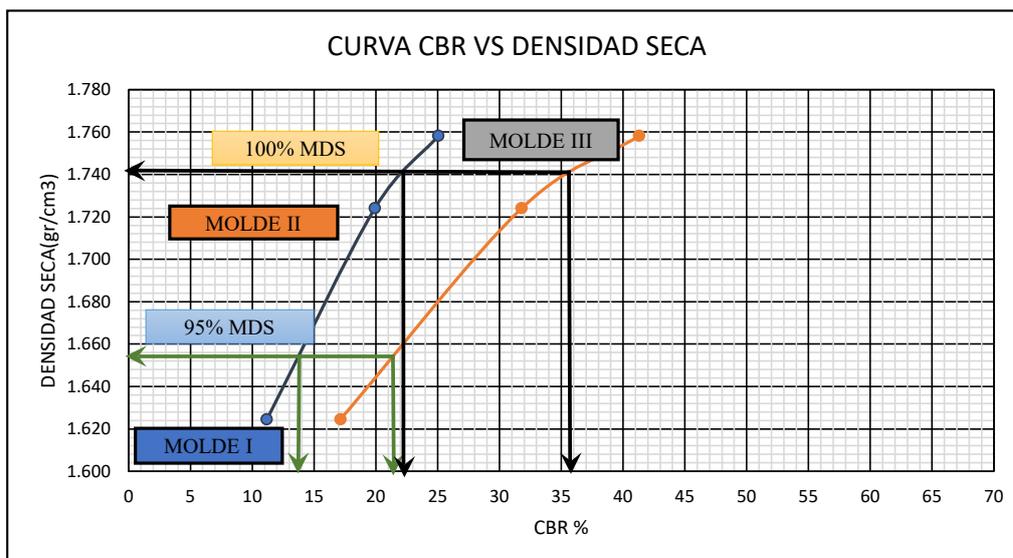
PENETRACIÓN

| PENETRACIÓN | | CARGA ESTANDAR kg/cm2 | MOLDE N° I | | MOLDE N° II | | MOLDE N° III | |
|-------------|------|--------------------------|------------|---------|-------------|---------|--------------|---------|
| pulg | mm | | CARGA | PRESIÓN | CARGA | PRESIÓN | CARGA | PRESIÓN |
| 0.000 | 0.00 | | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.000 | 0.00 | 0.000 |
| 0.025 | 0.64 | | 14.60 | 0.74 | 26.40 | 1.345 | 41.20 | 2.098 |
| 0.050 | 1.27 | | 46.40 | 2.36 | 96.30 | 4.905 | 122.70 | 6.249 |
| 0.075 | 1.91 | | 86.80 | 4.42 | 174.60 | 8.892 | 234.80 | 11.958 |
| 0.100 | 2.54 | 70.00 | 122.40 | 6.23 | 283.90 | 14.459 | 366.80 | 18.681 |
| 0.150 | 3.81 | | 264.30 | 13.46 | 521.70 | 26.570 | 658.70 | 33.547 |
| 0.200 | 5.08 | 105.00 | 336.80 | 17.15 | 624.30 | 31.795 | 811.50 | 41.329 |



| MOLDE | Penetracion (pulg.) | Presion Aplicada (kg/cm ²) | Presion Patrón(Kg/cm ²) | C.B.R (%) |
|-------|---------------------|--|-------------------------------------|-----------|
| I | 0.1 | 6.23 | 70.00 | 11.2 |
| II | 0.1 | 14.459 | 70.00 | 19.92 |
| III | 0.1 | 18.681 | 70.00 | 25.07 |

| MOLDE | Penetracion (pulg.) | Presion Aplicada (kg/cm ²) | Presion Patrón(Kg/cm ²) | C.B.R (%) |
|-------|---------------------|--|-------------------------------------|-----------|
| I | 0.2 | 17.15 | 105.00 | 17.2 |
| II | 0.2 | 31.795 | 105.00 | 31.795 |
| III | 0.2 | 41.329 | 105.00 | 41.329 |



| | | 0.1" | 0.2" |
|---------------------|-------|-------|-------|
| C.B.R para 100% MDS | 1.741 | 23.12 | 35.67 |
| C.B.R para 95% MDS | 1.654 | 13.88 | 21.30 |

Proyecto : DISEÑO ÓPTIMO DEL PAVIMENTO UTILIZANDO ESCORIA DE HORNOS ELÉCTRICOS COMO MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE EN EL MERCADO LA PERLA-CHIMBOTE

UBICACIÓN : Mercado la Perla, Distrito: Chimbote, Provincia: Santa, Departamento: Ancash

Fecha : JULIO-2021

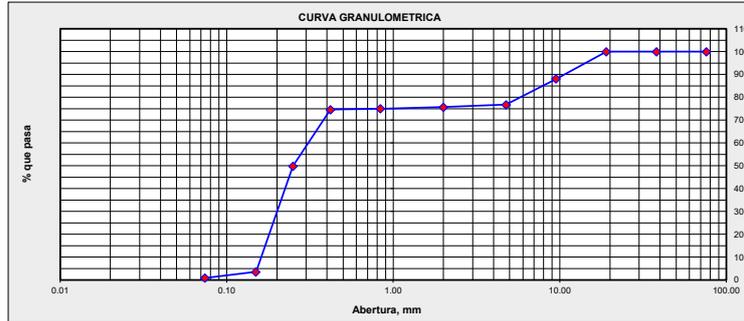
MUESTRA : C2

Responsables : Tesistas

DOSIFICACION : 25% DE ESCORIA

1. ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO (MTC E 107)

| Peso Total de la Muestra(gr) | 1200.00 | | |
|-------------------------------------|---------------|---------------------|--------|
| Peso Final de la Muestra(gr) | 1198.84 | | |
| Mallas | Abertura [mm] | Peso Retenido [grs] | % Pasa |
| 3" | 76.000 | 0.00 | 100.00 |
| 1 1/2" | 38.100 | 0.00 | 100.00 |
| 3/4" | 19.050 | 0.00 | 100.00 |
| 3/8" | 9.525 | 142.75 | 88.09 |
| N° 4 | 4.760 | 135.64 | 76.78 |
| N° 10 | 2.000 | 13.14 | 75.68 |
| N° 20 | 0.840 | 8.54 | 74.97 |
| N° 40 | 0.420 | 4.57 | 74.59 |
| N° 60 | 0.250 | 296.12 | 49.89 |
| N° 100 | 0.150 | 555.29 | 3.57 |
| N° 200 | 0.074 | 32.45 | 0.86 |
| < N° 200 | | 10.34 | 0.00 |



2. LIMITES DE CONSISTENCIA (MTC E 110- MTC E 111)

A. LIMITE LIQUIDO(MTC E 110)

| Procedimiento | Fórmula | Tara No | | | |
|-----------------------------------|-------------|---------|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1. No de Golpes | | | | | |
| 2. Peso Tara, [gr] | | | | | |
| 3. Peso Tara + Suelo Húmedo, [gr] | | | | | |
| 4. Peso Tara + Suelo Seco, [gr] | | | | | |
| 5. Peso Agua, [gr] | (3)-(4) | | | | |
| 6. Peso Suelo Seco, [gr] | (4)-(2) | | | | |
| 7. Contenido de Humedad, [%] | (5)/(6)X100 | | | | |

NO PRESENTA

B. LIMITE PLASTICO(MTC E 111)

| Procedimiento | Fórmula | Tara No | | | |
|-----------------------------------|-------------|---------|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1. Peso Tara, [gr] | | | | | |
| 2. Peso Tara + Suelo Húmedo, [gr] | | | | | |
| 3. Peso Tara + Suelo Seco, [gr] | | | | | |
| 4. Peso Agua, [gr] | (2)-(3) | | | | |
| 5. Peso Suelo Seco, [gr] | (3)-(1) | | | | |
| 6. Contenido de Humedad, [%] | (4)/(5)X100 | | | | |

NO PLASTICO



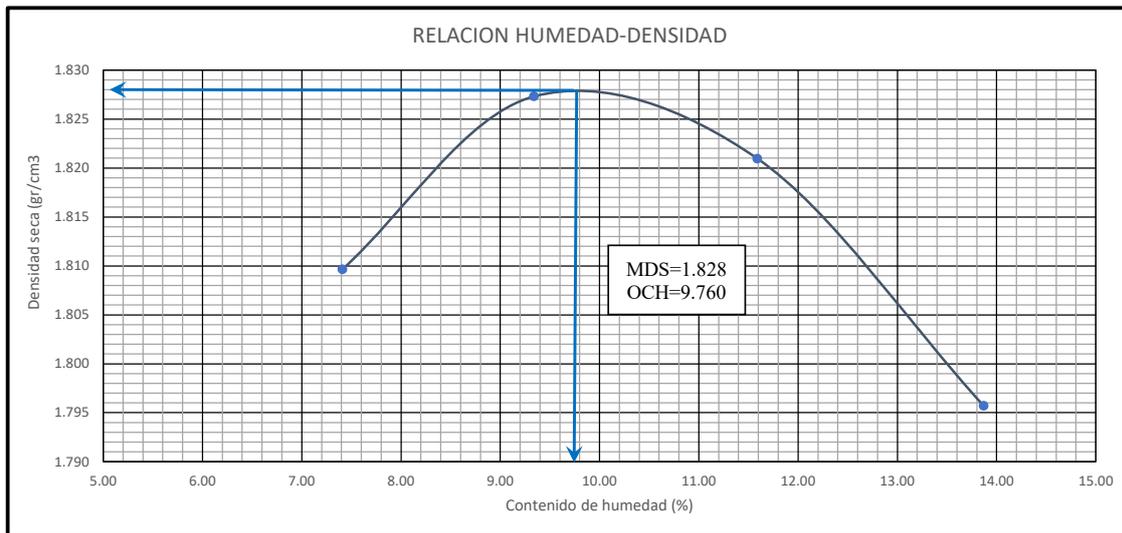
3. GRAVEDAD ESPECIFICA (MTC - E 113)

| Procedimiento | Fórmula | Tara No | | |
|--|---------|---------|--------|--------|
| | | 1 | 2 | 3 |
| 1. Peso Fiola, [gr] | | 175.45 | 183.75 | 176.04 |
| 2. Peso Suelo Seco, [gr] | | 100.00 | 100.00 | 100.00 |
| 3. Peso Fiola + Peso Suelo Seco, [gr] | (1)+(2) | 275.45 | 283.75 | 276.04 |
| 4. Peso Fiola + Agua, [gr] | | 668.14 | 680.14 | 671.62 |
| 5. Peso Fiola + Suelo Sueco + Agua, [gr] | | 731.17 | 743.11 | 734.59 |
| 6. Gravedad Especifica, [gr/cm3] | | 2.705 | 2.701 | 2.701 |
| 7. Gravedad Especifica, [%] | % | | 2.702 | |

RESUMEN

| | |
|---|---------------|
| Grava (No.4 < Diam < 3") | 23.22% |
| Grava Gruesa (3/4" < Diam < 3") | 0.00% |
| Grava Fina (N°4" < Diam < 3/4") | 23.22% |
| Arena (No.200 < Diam < No.4) | 75.92% |
| Arena Gruesa (No.10 < Diam < No.4) | 1.10% |
| Arena Media (No.40 < Diam < No.10) | 1.09% |
| Arena Fina (No.200 < Diam < No.40) | 73.73% |
| Finos (Diam < No.200) | 0.86% |
| Límite Líquido | N.P. |
| Límite Plástico | N.P. |
| Índice Plasticidad | N.P. |
| Peso Especifico | 2.702 |

| ENSAYO DE COMPACTACION | | | | | | | | | |
|---|--------|---|--------|--------------|--------|--------|--------|--------------|--------------|
| PROCTOR MODIFICADO(MTC E 115) | | | | | | | | | |
| PROYECTO | | :DISEÑO ÓPTIMO DEL PAVIMENTO UTILIZANDO ESCORIA DE HORNOS ELÉCTRICOS COMO MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE EN EL MERCADO LA PERLA-CHIMBOTE | | | | | | | |
| UBICACIÓN | | : Mercado la Perla, Distrito: Chimbote, Provincia: Santa, Departamento: Ancash | | | | | | FECHA | : JULIO-2021 |
| MUESTRA: | | : Calicata N°2 | | | | | | | |
| DOSIFICACION | | :25% DE ESCORIA | | | | | | | |
| DETERMINACION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD | | | | | | | | | |
| Prueba N° | | 01 | | 02 | | 03 | | 04 | |
| Peso del tarro (gr) | 28.36 | 27.25 | 29.21 | 27.48 | 27.87 | 28.51 | 29.62 | 27.65 | |
| Peso del tarro + Muestra Humeda (gr) | 77.89 | 112.96 | 123.81 | 129.64 | 103.45 | 126.15 | 126.88 | 100.51 | |
| Peso del tarro + Muestra seca (gr) | 74.43 | 107.11 | 115.75 | 120.89 | 95.58 | 116.03 | 115.03 | 91.63 | |
| Peso del agua (gr) | 3.46 | 5.85 | 8.06 | 8.75 | 7.87 | 10.12 | 11.85 | 8.87 | |
| Peso del material seco (gr) | 46.07 | 79.86 | 86.53 | 93.41 | 67.71 | 87.52 | 85.40 | 63.99 | |
| Contenido de humedad (%) | 7.50 | 7.33 | 9.32 | 9.37 | 11.62 | 11.56 | 13.88 | 13.87 | |
| % Promedio | 7.41 | | 9.34 | | 11.59 | | 13.87 | | |
| DETERMINACION DE LA DENSIDAD | | | | | | | | | |
| Contenido de humedad (%) | 7.41 | 9.34 | 11.59 | 13.87 | | | | | |
| Peso del suelo + Molde (gr) | 3770 | 3816 | 3842 | 3865 | | | | | |
| Peso del molde (gr) | 1942 | 1937 | 1931 | 1942 | | | | | |
| Peso del suelo (gr) | 1828 | 1879 | 1911 | 1923 | | | | | |
| Volumen del Molde (cm ³) | 940.45 | 940.45 | 940.45 | 940.45 | | | | | |
| Densidad de Humedad (gr/cm ³) | 1.944 | 1.998 | 2.032 | 2.045 | | | | | |
| Densidad seca (gr/cm ³) | 1.810 | 1.827 | 1.821 | 1.796 | | | | | |
| Densidad máxima (gr/cm3) | | | | 1.828 | | | | | |
| Humedad óptima (%) | | | | 9.76% | | | | | |



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

PROYECTO : DISEÑO ÓPTIMO DEL PAVIMENTO UTILIZANDO ESCORIA DE HORNOS ELÉCTRICOS COMO MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE EN EL MERCADO LA PERLA-CHIMBOTE

UBICACIÓN: Mercado la Perla, Distrito: Chimbote, Provincia: Santa, Departamento: Ancash

FECHA: JULIO - 2021

MUESTRA : Calicata N°2 + 25% de Escoria

RESPONSABLES TESISTAS

DATOS DE LA MUESTRA

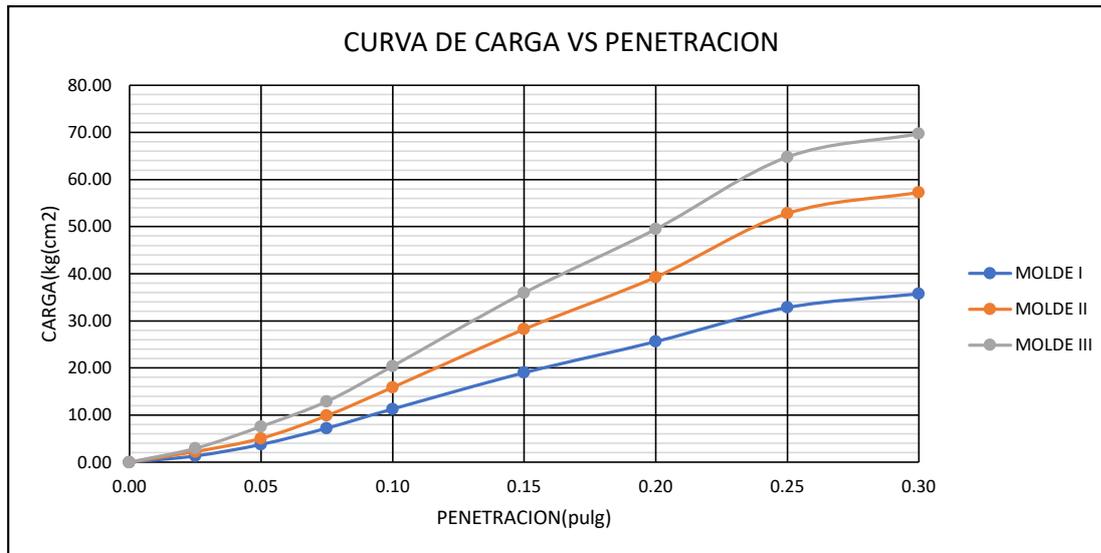
| | | | |
|---------------------|----------------|-------------------------|-------|
| MUESTRA: | Calicata N°2 | DENSIDAD MAXIMA: | 1.828 |
| DOFISICACIÓN | 25% de Escoria | HUMEDAD OPTIMA: | 9.76 |

COMPACTACIÓN

| Molde N° | 1 | 2 | 3 |
|--------------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| N° de golpes por capa | 12 | 26 | 56 |
| CONDICIONES DE LA MUESTRA | Despues de Mojado | Despues de Mojado | Despues de Mojado |
| Peso del molde + suelo húmedo (grs) | 11201 | 11485 | 11692 |
| Peso del molde (gramos) | 7160 | 7159 | 7172 |
| Peso del suelo húmedo (grs.) | 4041 | 4326 | 4520 |
| Volumen del molde (cc) | 2105 | 2105 | 2105 |
| Densidad húmeda (grs./cm3) | 1.92 | 2.06 | 2.15 |
| Densidad seca (grs./cm3) | 1.686 | 1.790 | 1.859 |
| Tarro N° | 10 | 12 | 16 |
| Peso del tarro + suelo húmedo (grs.) | 107.630 | 141.643 | 141.643 |
| Peso del tarro + suelo seco (grs.) | 97.989 | 126.997 | 126.297 |
| Peso del agua (grs.) | 9.64 | 14.646 | 15.346 |
| Peso del tarro (grs.) | 28.301 | 28.091 | 27.305 |
| Peso del suelo seco (grs.) | 69.69 | 98.91 | 98.99 |
| % de humedad | 13.83 | 14.81 | 15.50 |

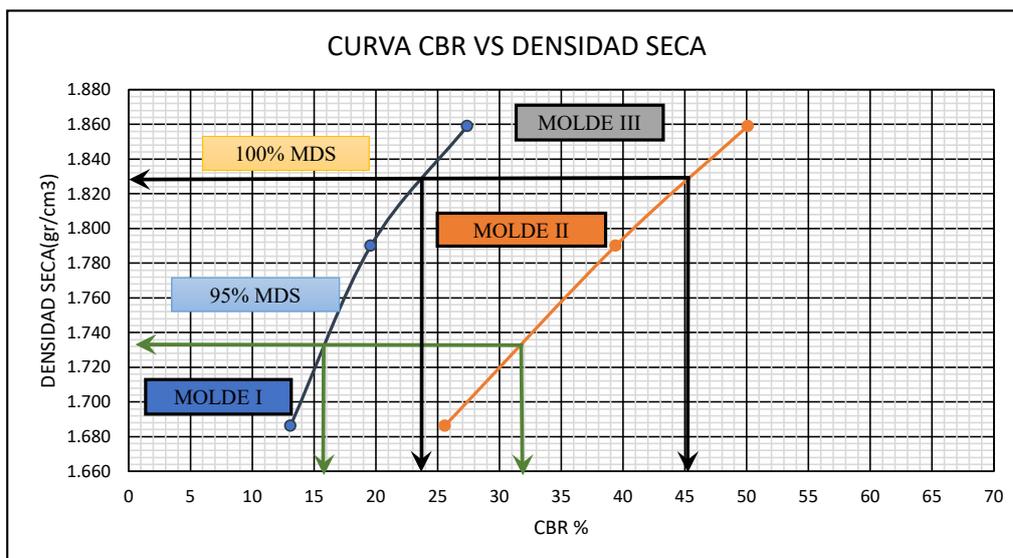
PENETRACIÓN

| PENETRACIÓN | | CARGA ESTANDAR kg/cm2 | MOLDE N° I | | MOLDE N° II | | MOLDE N° III | |
|-------------|------|--------------------------|------------|---------|-------------|---------|--------------|---------|
| pulg | mm | | CARGA | PRESIÓN | CARGA | PRESIÓN | CARGA | PRESIÓN |
| 0.000 | 0.00 | | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.000 | 0.00 | 0.000 |
| 0.025 | 0.64 | | 25.90 | 1.32 | 44.10 | 2.246 | 57.50 | 2.928 |
| 0.050 | 1.27 | | 73.90 | 3.76 | 99.20 | 5.052 | 148.60 | 7.568 |
| 0.075 | 1.91 | | 141.80 | 7.22 | 193.90 | 9.875 | 253.40 | 12.906 |
| 0.100 | 2.54 | 70.00 | 221.50 | 11.28 | 311.80 | 15.880 | 400.40 | 20.392 |
| 0.150 | 3.81 | | 372.90 | 18.99 | 554.10 | 28.220 | 705.80 | 35.946 |
| 0.200 | 5.08 | 105.00 | 502.40 | 25.59 | 771.20 | 39.277 | 971.20 | 49.463 |
| 0.250 | 6.35 | | 644.50 | 32.82 | 1036.40 | 52.783 | 1271.60 | 64.762 |
| 0.300 | 7.62 | | 701.60 | 35.73 | 1124.40 | 57.265 | 1368.50 | 69.697 |



| MOLDE | Penetracion (pulg.) | Presion Aplicada (kg/cm ²) | Presion Patrón (Kg/cm ²) | C.B.R (%) |
|-------|---------------------|--|--------------------------------------|-----------|
| I | 0.1 | 11.28 | 70.00 | 13.1 |
| II | 0.1 | 15.88 | 70.00 | 19.6 |
| III | 0.1 | 20.392 | 70.00 | 27.4 |

| MOLDE | Penetracion (pulg.) | Presion Aplicada (kg/cm ²) | Presion Patrón (Kg/cm ²) | C.B.R (%) |
|-------|---------------------|--|--------------------------------------|-----------|
| I | 0.1 | 25.59 | 105.00 | 25.6 |
| II | 0.1 | 39.277 | 105.00 | 39.4 |
| III | 0.1 | 49.463 | 105.00 | 50.1 |



| | | 0.1" | 0.2" |
|---------------------|-------|--------------|--------------|
| C.B.R para 100% MDS | 1.828 | 24.88 | 45.03 |
| C.B.R para 95% MDS | 1.737 | 15.95 | 31.81 |

Proyecto : DISEÑO ÓPTIMO DEL PAVIMENTO UTILIZANDO ESCORIA DE HORNOS ELÉCTRICOS COMO MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE EN EL MERCADO LA PERLA-CHIMBOTE

UBICACIÓN : Mercado la Perla, Distrito: Chimbote, Provincia: Santa, Departamento: Ancash

Fecha : JULIO-2021

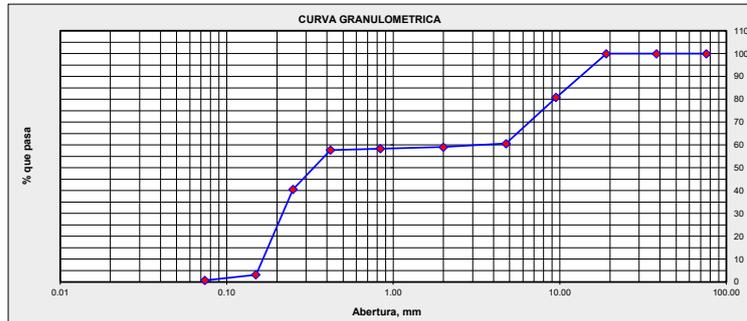
MUESTRA : C2

Responsables : Tesistas

DOSIFICACION : 40% DE ESCORIA

1. ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO (MTC E 107)

| Peso Total de la Muestra (gr) | | 1200.00 | |
|--------------------------------------|---------------|---------------------|--------|
| Peso Final de la Muestra (gr) | | 1197.97 | |
| Mallas | Abertura [mm] | Peso Retenido [grs] | % Pasa |
| 3" | 76.000 | 0.00 | 100.00 |
| 1 1/2" | 38.100 | 0.00 | 100.00 |
| 3/4" | 19.050 | 0.00 | 100.00 |
| 3/8" | 9.525 | 229.67 | 80.83 |
| N° 4 | 4.760 | 242.45 | 60.59 |
| N° 10 | 2.000 | 18.40 | 59.05 |
| N° 20 | 0.840 | 8.45 | 58.35 |
| N° 40 | 0.420 | 6.70 | 57.79 |
| N° 60 | 0.250 | 206.12 | 40.58 |
| N° 100 | 0.150 | 448.29 | 3.16 |
| N° 200 | 0.074 | 29.44 | 0.71 |
| < N° 200 | | 8.45 | 0.00 |



2. LIMITES DE CONSISTENCIA (MTC E 110- MTC E 111)

A. LIMITE LIQUIDO (MTC E 110)

| Procedimiento | Fórmula | Tara No | | | |
|-----------------------------------|-------------|---------|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1. No de Golpes | | | | | |
| 2. Peso Tara, [gr] | | | | | |
| 3. Peso Tara + Suelo Húmedo, [gr] | | | | | |
| 4. Peso Tara + Suelo Seco, [gr] | | | | | |
| 5. Peso Agua, [gr] | (3)-(4) | | | | |
| 6. Peso Suelo Seco, [gr] | (4)-(2) | | | | |
| 7. Contenido de Humedad, [%] | (5)/(6)X100 | | | | |

NO PRESENTA

B. LIMITE PLASTICO (MTC E 111)

| Procedimiento | Fórmula | Tara No | | | |
|-----------------------------------|-------------|---------|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1. Peso Tara, [gr] | | | | | |
| 2. Peso Tara + Suelo Húmedo, [gr] | | | | | |
| 3. Peso Tara + Suelo Seco, [gr] | | | | | |
| 4. Peso Agua, [gr] | (2)-(3) | | | | |
| 5. Peso Suelo Seco, [gr] | (3)-(1) | | | | |
| 6. Contenido de Humedad, [%] | (4)/(5)X100 | | | | |

NO PLASTICO



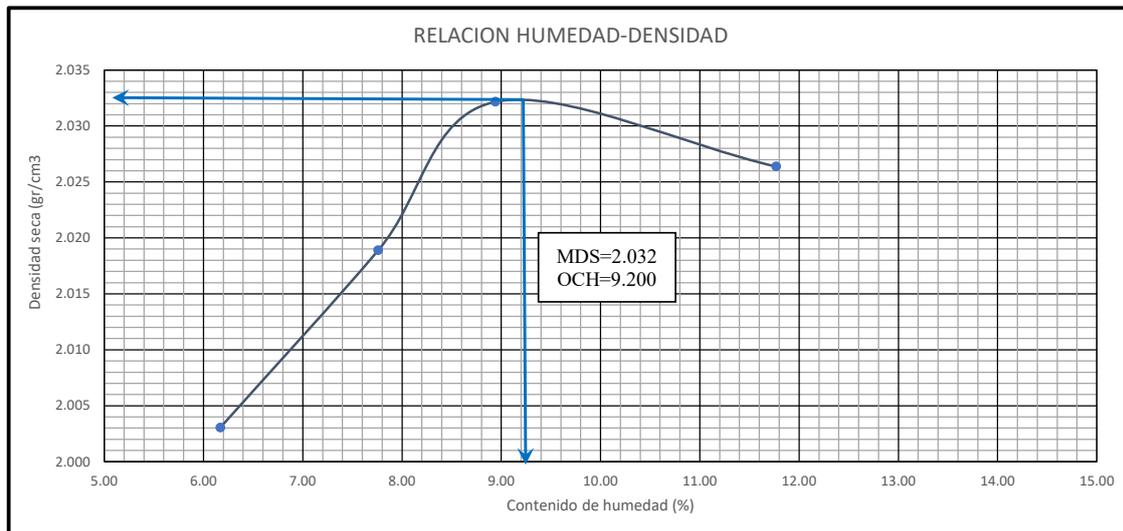
3. GRAVEDAD ESPECIFICA (MTC - E 113)

| Procedimiento | Fórmula | Tara No | | |
|--|---------|---------|--------|--------|
| | | 1 | 2 | 3 |
| 1. Peso Fiola, [gr] | | 175.45 | 183.75 | 176.04 |
| 2. Peso Suelo Seco, [gr] | | 100.00 | 100.00 | 100.00 |
| 3. Peso Fiola + Peso Suelo Seco, [gr] | (1)+(2) | 275.45 | 283.75 | 276.04 |
| 4. Peso Fiola + Agua, [gr] | | 671.66 | 682.24 | 669.55 |
| 5. Peso Fiola + Suelo Sueco + Agua, [gr] | | 735.86 | 746.36 | 733.76 |
| 6. Gravedad Especifica, [gr/cm3] | | 2.793 | 2.787 | 2.794 |
| 7. Gravedad Especifica, [%] | % | | 2.791 | |

RESUMEN

| | |
|---|---------------|
| Grava (No.4 < Diam < 3") | 39.41% |
| Grava Gruesa (3/4" < Diam < 3") | 0.00% |
| Grava Fina (N°4" < Diam < 3/4") | 39.41% |
| Arena (No.200 < Diam < No.4) | 59.88% |
| Arena Gruesa (No.10 < Diam < No.4) | 1.54% |
| Arena Media (No.40 < Diam < No.10) | 1.26% |
| Arena Fina (No.200 < Diam < No.40) | 57.08% |
| Finos (Diam < No.200) | 0.71% |
| Límite Líquido | N.P. |
| Límite Plástico | N.P. |
| Índice Plasticidad | N.P. |
| Peso Especifico | 2.791 |

| ENSAYO DE COMPACTACION | | | | | | | | | | |
|---|---|--------|--------|--------|--------|--------|--|--------------|--|--|
| PROCTOR MODIFICADO(MTC E 115) | | | | | | | | | | |
| PROYECTO | :DISEÑO ÓPTIMO DEL PAVIMENTO UTILIZANDO ESCORIA DE HORNOS ELÉCTRICOS COMO MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE EN EL MERCADO LA PERLA-CHIMBOTE | | | | | | | | | |
| UBICACIÓN | : Mercado la Perla, Distrito: Chimbote, Provincia: Santa, Departamento: Ancash | | | | | | | | | |
| MUESTRA: | : Calicata N°2 | | | | | | FECHA | : JULIO-2021 | | |
| DOSIFICACION | :40% DE ESCORIA | | | | | | | | | |
| DETERMINACION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD | | | | | | | | | | |
| Prueba N° | 01 | | 02 | | 03 | | 04 | | | |
| Peso del tarro (gr) | 28.36 | 27.25 | 29.21 | 27.48 | 27.87 | 28.51 | 29.62 | 27.65 | | |
| Peso del tarro + Muestra Humeda (gr) | 148.17 | 121.73 | 127.13 | 139.40 | 136.78 | 155.29 | 126.82 | 148.35 | | |
| Peso del tarro + Muestra seca (gr) | 141.17 | 116.27 | 120.05 | 131.37 | 127.72 | 145.02 | 116.66 | 135.55 | | |
| Peso del agua (gr) | 7.00 | 5.47 | 7.09 | 8.02 | 9.06 | 10.27 | 10.16 | 12.81 | | |
| Peso del material seco (gr) | 112.81 | 89.02 | 90.83 | 103.89 | 99.85 | 116.52 | 87.04 | 107.90 | | |
| Contenido de humedad (%) | 6.20 | 6.14 | 7.80 | 7.72 | 9.07 | 8.81 | 11.67 | 11.87 | | |
| % Promedio | 6.17 | | 7.76 | | 8.94 | | 11.77 | | | |
| DETERMINACION DE LA DENSIDAD | | | | | | | | | | |
| Contenido de humedad (%) | 6.17 | | 7.76 | | 8.94 | | 11.77 | | | |
| Peso del suelo + Molde (gr) | 3937 | | 3977 | | 4024 | | 4067 | | | |
| Peso del molde (gr) | 1937 | | 1931 | | 1942 | | 1937 | | | |
| Peso del suelo (gr) | 2000 | | 2046 | | 2082 | | 2130 | | | |
| Volumen del Molde (cm ³) | 940.45 | | 940.45 | | 940.45 | | 940.45 | | | |
| Densidad de Humedad (gr/cm ³) | 2.127 | | 2.176 | | 2.214 | | 2.265 | | | |
| Densidad seca (gr/cm ³) | 2.003 | | 2.019 | | 2.032 | | 2.026 | | | |
| | | | | | | | Densidad máxima (gr/cm³) | 2.032 | | |
| | | | | | | | Humedad óptima (%) | 9.20% | | |



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

PROYECTO : DISEÑO ÓPTIMO DEL PAVIMENTO UTILIZANDO ESCORIA DE HORNOS ELÉCTRICOS COMO MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE EN EL MERCADO LA PERLA-CHIMBOTE

UBICACIÓN: Mercado la Perla, Distrito: Chimbote, Provincia: Santa, Departamento: Ancash

FECHA: JULIO - 2021

MUESTRA : Calicata N°2 + 40% de Escoria

RESPONSABLES TESISTAS

DATOS DE LA MUESTRA

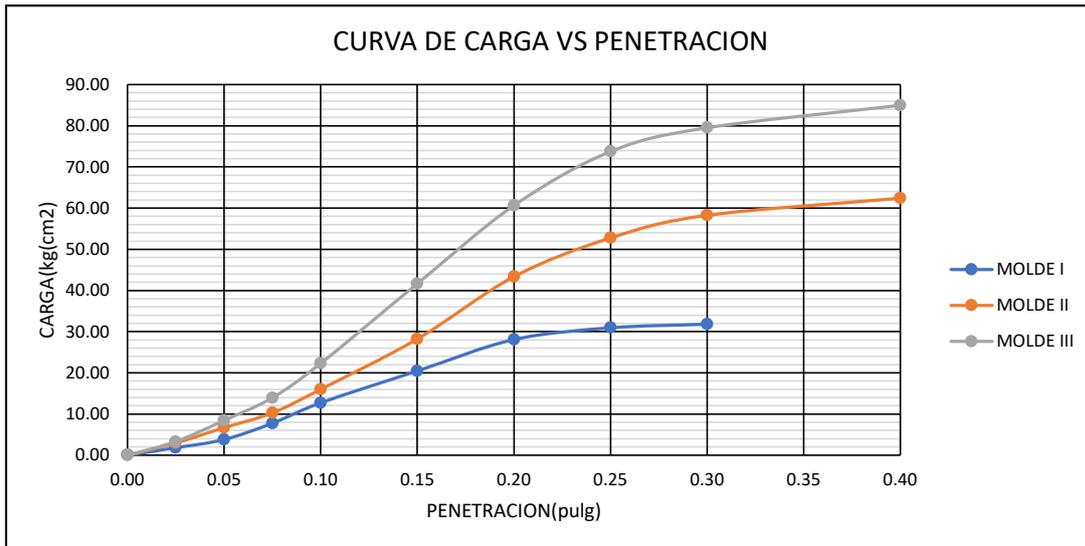
| | | | |
|---------------------|----------------|-------------------------|-------|
| MUESTRA: | Calicata N°2 | DENSIDAD MAXIMA: | 2.032 |
| DOFISICACIÓN | 40% de Escoria | HUMEDAD OPTIMA: | 9.20 |

COMPACTACIÓN

| Molde N° | 1 | 2 | 3 |
|--------------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| N° de golpes por capa | 12 | 26 | 56 |
| CONDICIONES DE LA MUESTRA | Despues de Mojado | Despues de Mojado | Despues de Mojado |
| Peso del molde + suelo húmedo (grs) | 11621 | 11908 | 12131 |
| Peso del molde (gramos) | 7172 | 7159 | 7160 |
| Peso del suelo húmedo (grs.) | 4449 | 4749 | 4971 |
| Volumen del molde (cc) | 2105 | 2105 | 2105 |
| Densidad húmeda (grs./cm3) | 2.11 | 2.26 | 2.36 |
| Densidad seca (grs./cm3) | 1.882 | 1.989 | 2.071 |
| Tarro N° | 10 | 12 | 16 |
| Peso del tarro + suelo húmedo (grs.) | 173.751 | 133.795 | 128.192 |
| Peso del tarro + suelo seco (grs.) | 157.723 | 121.299 | 115.823 |
| Peso del agua (grs.) | 16.03 | 12.496 | 12.369 |
| Peso del tarro (grs.) | 27.645 | 28.301 | 27.77 |
| Peso del suelo seco (grs.) | 130.08 | 93.00 | 88.05 |
| % de humedad | 12.32 | 13.44 | 14.05 |

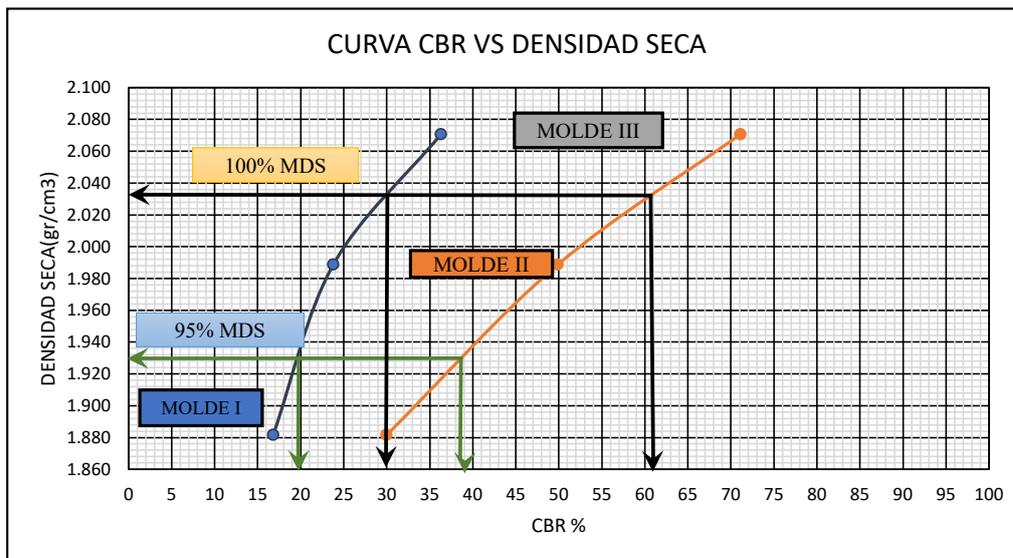
PENETRACIÓN

| PENETRACIÓN | | CARGA ESTANDAR kg/cm2 | MOLDE N° I | | MOLDE N° II | | MOLDE N° III | |
|-------------|-------|-----------------------|------------|---------|-------------|---------|--------------|---------|
| pulg | mm | | CARGA | PRESIÓN | CARGA | PRESIÓN | CARGA | PRESIÓN |
| 0.000 | 0.00 | | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.000 | 0.00 | 0.000 |
| 0.025 | 0.64 | | 35.40 | 1.80 | 58.40 | 2.974 | 64.90 | 3.305 |
| 0.050 | 1.27 | | 74.60 | 3.80 | 131.20 | 6.682 | 165.80 | 8.444 |
| 0.075 | 1.91 | | 152.10 | 7.75 | 201.60 | 10.267 | 273.80 | 13.945 |
| 0.100 | 2.54 | 70.00 | 249.60 | 12.71 | 314.10 | 15.997 | 437.60 | 22.287 |
| 0.150 | 3.81 | | 401.50 | 20.45 | 553.80 | 28.205 | 817.60 | 41.640 |
| 0.200 | 5.08 | 105.00 | 551.40 | 28.08 | 851.00 | 43.341 | 1190.30 | 60.621 |
| 0.250 | 6.35 | | 607.40 | 30.93 | 1035.80 | 52.753 | 1447.60 | 73.726 |
| 0.300 | 7.62 | | 624.50 | 31.81 | 1143.80 | 58.253 | 1561.10 | 79.506 |
| 0.400 | 10.16 | | - | - | 1225.40 | 62.409 | 1668.20 | 84.961 |



| MOLDE | Penetracion (pulg.) | Presion Aplicada (kg/cm ²) | Presion Patrón (Kg/cm ²) | C.B.R (%) |
|-------|---------------------|--|--------------------------------------|-----------|
| I | 0.1 | 12.71 | 70.00 | 16.8 |
| II | 0.1 | 15.997 | 70.00 | 23.8 |
| III | 0.1 | 22.287 | 70.00 | 36.3 |

| MOLDE | Penetracion (pulg.) | Presion Aplicada (kg/cm ²) | Presion Patrón (Kg/cm ²) | C.B.R (%) |
|-------|---------------------|--|--------------------------------------|-----------|
| I | 0.1 | 28.08 | 105.00 | 30.0 |
| II | 0.1 | 43.341 | 105.00 | 49.90 |
| III | 0.1 | 60.621 | 105.00 | 71.1 |



| | | 0.1" | 0.2" |
|---------------------|-------|-------|-------|
| C.B.R para 100% MDS | 2.032 | 30.00 | 60.96 |
| C.B.R para 95% MDS | 1.930 | 19.96 | 38.86 |

Proyecto : DISEÑO ÓPTIMO DEL PAVIMENTO UTILIZANDO ESCORIA DE HORNOS ELÉCTRICOS COMO MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE EN EL MERCADO LA PERLA-CHIMBOTE

UBICACIÓN : Mercado la Perla, Distrito: Chimbote, Provincia: Santa, Departamento: Ancash

Fecha : JULIO-2021

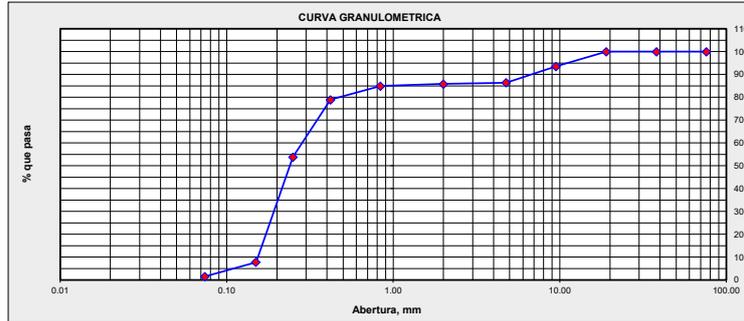
MUESTRA : C3

Responsables : Tesistas

DOSIFICACION : 15% DE ESCORIA

1. ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO (MTC E 107)

| Peso Total de la Muestra(gr) | | 1200.00 | |
|-------------------------------------|---------------|---------------------|--------|
| Peso Final de la Muestra(gr) | | 1195.67 | |
| Mallas | Abertura [mm] | Peso Retenido [grs] | % Pasa |
| 3" | 76.000 | 0.00 | 100.00 |
| 1 1/2" | 38.100 | 0.00 | 100.00 |
| 3/4" | 19.050 | 0.00 | 100.00 |
| 3/8" | 9.525 | 77.19 | 93.54 |
| N° 4 | 4.760 | 85.45 | 86.40 |
| N° 10 | 2.000 | 6.94 | 85.82 |
| N° 20 | 0.840 | 11.21 | 84.88 |
| N° 40 | 0.420 | 71.45 | 78.90 |
| N° 60 | 0.250 | 299.51 | 53.85 |
| N° 100 | 0.150 | 550.87 | 7.78 |
| N° 200 | 0.074 | 74.51 | 1.55 |
| < N° 200 | | 18.54 | 0.00 |



2. LIMITES DE CONSISTENCIA (MTC E 110- MTC E 111)

A. LIMITE LIQUIDO(MTC E 110)

| Procedimiento | Fórmula | Tara No | | | |
|-----------------------------------|-------------|---------|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1. No de Golpes | | | | | |
| 2. Peso Tara, [gr] | | | | | |
| 3. Peso Tara + Suelo Húmedo, [gr] | | | | | |
| 4. Peso Tara + Suelo Seco, [gr] | | | | | |
| 5. Peso Agua, [gr] | (3)-(4) | | | | |
| 6. Peso Suelo Seco, [gr] | (4)-(2) | | | | |
| 7. Contenido de Humedad, [%] | (5)/(6)X100 | | | | |

NO PRESENTA

B. LIMITE PLASTICO(MTC E 111)

| Procedimiento | Fórmula | Tara No | | | |
|-----------------------------------|-------------|---------|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1. Peso Tara, [gr] | | | | | |
| 2. Peso Tara + Suelo Húmedo, [gr] | | | | | |
| 3. Peso Tara + Suelo Seco, [gr] | | | | | |
| 4. Peso Agua, [gr] | (2)-(3) | | | | |
| 5. Peso Suelo Seco, [gr] | (3)-(1) | | | | |
| 6. Contenido de Humedad, [%] | (4)/(5)X100 | | | | |

NO PLASTICO



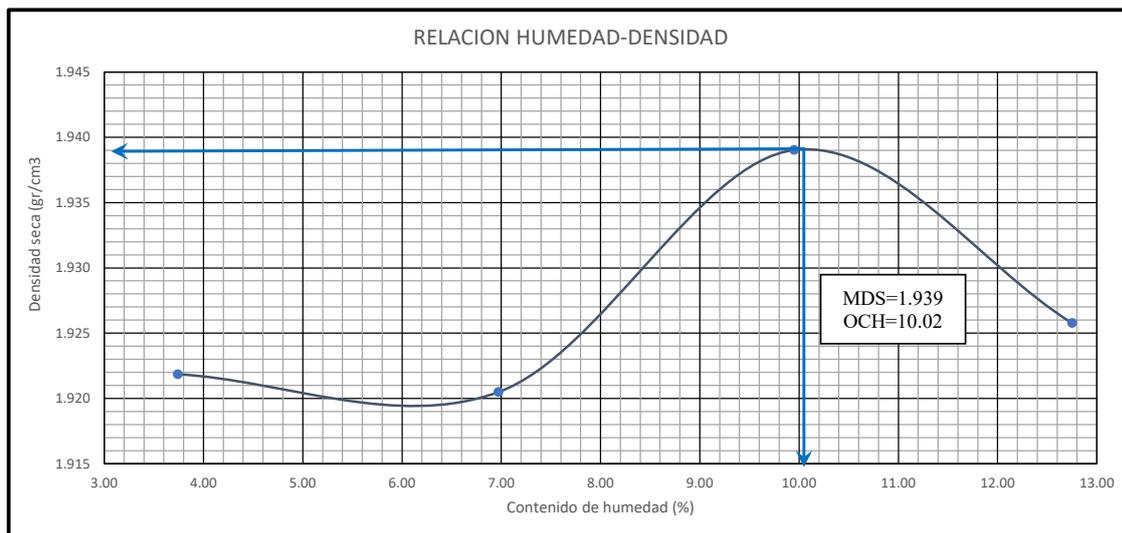
3. GRAVEDAD ESPECIFICA (MTC - E 113)

| Procedimiento | Fórmula | Tara No | | |
|--|---------|---------|--------|--------|
| | | 1 | 2 | 3 |
| 1. Peso Fiola, [gr] | | 172.12 | 176.04 | 184.25 |
| 2. Peso Suelo Seco, [gr] | | 100.00 | 100.00 | 100.00 |
| 3. Peso Fiola + Peso Suelo Seco, [gr] | (1)+(2) | 272.12 | 276.04 | 284.25 |
| 4. Peso Fiola + Agua, [gr] | | 667.55 | 671.94 | 681.31 |
| 5. Peso Fiola + Suelo Sueco + Agua, [gr] | | 730.34 | 734.79 | 744.08 |
| 6. Gravedad Especifica, [gr/cm3] | | 2.687 | 2.692 | 2.686 |
| 7. Gravedad Especifica, [%] | % | | 2.688 | |

RESUMEN

| | |
|---|---------------|
| Grava (No.4 < Diam < 3") | 13.60% |
| Grava Gruesa (3/4" < Diam < 3") | 0.00% |
| Grava Fina (N°4" < Diam < 3/4") | 13.60% |
| Arena (No.200 < Diam < No.4) | 84.85% |
| Arena Gruesa (No.10 < Diam < No.4) | 0.58% |
| Arena Media (No.40 < Diam < No.10) | 6.91% |
| Arena Fina (No.200 < Diam < No.40) | 77.35% |
| Finos (Diam < No.200) | 1.55% |
| Límite Líquido | N.P. |
| Límite Plástico | N.P. |
| Índice Plasticidad | N.P. |
| Peso Especifico | 2.688 |

| ENSAYO DE COMPACTACION | | | | | | | | | | |
|--|-----------------------|---|-------|--------|-------|--------|--------|---------------|--------|--------------|
| PROCTOR MODIFICADO(MTC E 115) | | | | | | | | | | |
| PROYECTO | | :DISEÑO ÓPTIMO DEL PAVIMENTO UTILIZANDO ESCORIA DE HORNOS ELÉCTRICOS COMO MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE EN EL MERCADO LA PERLA-CHIMBOTE | | | | | | | | |
| UBICACIÓN | | : Mercado la Perla, Distrito: Chimbote, Provincia: Santa, Departamento: Ancash | | | | | | FECHA | | : JULIO-2021 |
| MUESTRA: | | : Calicata N°3 | | | | | | | | |
| DOSIFICACION | | :15% DE ESCORIA | | | | | | | | |
| DETERMINACION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD | | | | | | | | | | |
| Prueba N° | | 01 | | 02 | | 03 | | 04 | | |
| Peso del tarro | (gr) | 29.62 | 27.65 | 28.36 | 27.25 | 29.21 | 27.48 | 27.87 | 28.51 | |
| Peso del tarro + Muestra Humeda | (gr) | 83.95 | 90.69 | 101.93 | 99.76 | 96.22 | 119.82 | 103.53 | 108.04 | |
| Peso del tarro + Muestra seca | (gr) | 81.98 | 88.43 | 97.23 | 94.94 | 90.14 | 111.48 | 95.03 | 98.98 | |
| Peso del agua | (gr) | 1.97 | 2.26 | 4.70 | 4.82 | 6.07 | 8.34 | 8.50 | 9.06 | |
| Peso del material seco | (gr) | 52.35 | 60.79 | 68.87 | 67.69 | 60.93 | 84.00 | 67.16 | 70.48 | |
| Contenido de humedad | % | 3.77 | 3.72 | 6.82 | 7.12 | 9.97 | 9.92 | 12.66 | 12.85 | |
| % Promedio | | 3.74 | | 6.97 | | 9.95 | | 12.75 | | |
| DETERMINACION DE LA DENSIDAD | | | | | | | | | | |
| Contenido de humedad | % | 3.74 | | 6.97 | | 9.95 | | 12.75 | | |
| Peso del suelo + Molde | (gr) | 3817 | | 3869 | | 3936 | | 3984 | | |
| Peso del molde | (gr) | 1942 | | 1937 | | 1931 | | 1942 | | |
| Peso del suelo | (gr) | 1875 | | 1932 | | 2005 | | 2042 | | |
| Volumen del Molde | (cm ³) | 940.45 | | 940.45 | | 940.45 | | 940.45 | | |
| Densidad de Humedad | (gr/cm ³) | 1.994 | | 2.054 | | 2.132 | | 2.171 | | |
| Densidad seca | (gr/cm ³) | 1.922 | | 1.920 | | 1.939 | | 1.926 | | |
| Densidad máxima (gr/cm³) | | | | | | | | 1.939 | | |
| Humedad óptima (%) | | | | | | | | 10.02% | | |



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

PROYECTO : DISEÑO ÓPTIMO DEL PAVIMENTO UTILIZANDO ESCORIA DE HORNOS ELÉCTRICOS COMO MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE EN EL MERCADO LA PERLA-CHIMBOTE

UBICACIÓN: Mercado la Perla, Distrito: Chimbote, Provincia: Santa, Departamento: Ancash

FECHA: JULIO - 2021

MUESTRA : Calicata N°3 + 15% de Escoria

RESPONSABLES TESISISTAS

DATOS DE LA MUESTRA

| | |
|---------------------|----------------|
| MUESTRA: | Calicata N°3 |
| DOFISICACIÓN | 15% de Escoria |

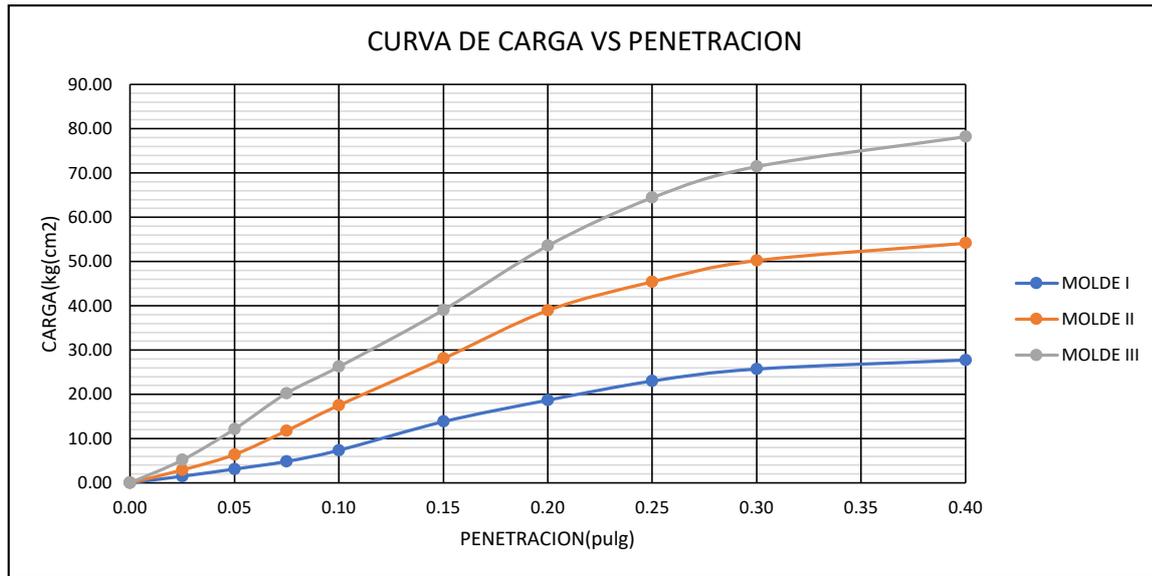
| | |
|-------------------------|-------|
| DENSIDAD MAXIMA: | 1.939 |
| HUMEDAD OPTIMA: | 10.02 |

COMPACTACIÓN

| Molde N° | 1 | 2 | 3 |
|--------------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| N° de golpes por capa | 12 | 26 | 56 |
| CONDICIONES DE LA MUESTRA | Despues de Mojado | Despues de Mojado | Despues de Mojado |
| Peso del molde + suelo húmedo (grs.) | 11355 | 11628 | 11781 |
| Peso del molde (gramos) | 7172 | 7159 | 7160 |
| Peso del suelo húmedo (grs.) | 4183 | 4469 | 4621 |
| Volumen del molde (cc) | 2105 | 2105 | 2105 |
| Densidad húmeda (grs./cm3) | 1.99 | 2.12 | 2.20 |
| Densidad seca (grs./cm3) | 1.811 | 1.917 | 1.969 |
| Tarro N° | 10 | 12 | 16 |
| Peso del tarro + suelo húmedo (grs.) | 146.612 | 161.487 | 157.039 |
| Peso del tarro + suelo seco (grs.) | 136.254 | 148.588 | 143.658 |
| Peso del agua (grs.) | 10.36 | 12.899 | 13.381 |
| Peso del tarro (grs.) | 29.624 | 28.301 | 27.305 |
| Peso del suelo seco (grs.) | 106.63 | 120.29 | 116.35 |
| % de humedad | 9.71 | 10.72 | 11.50 |

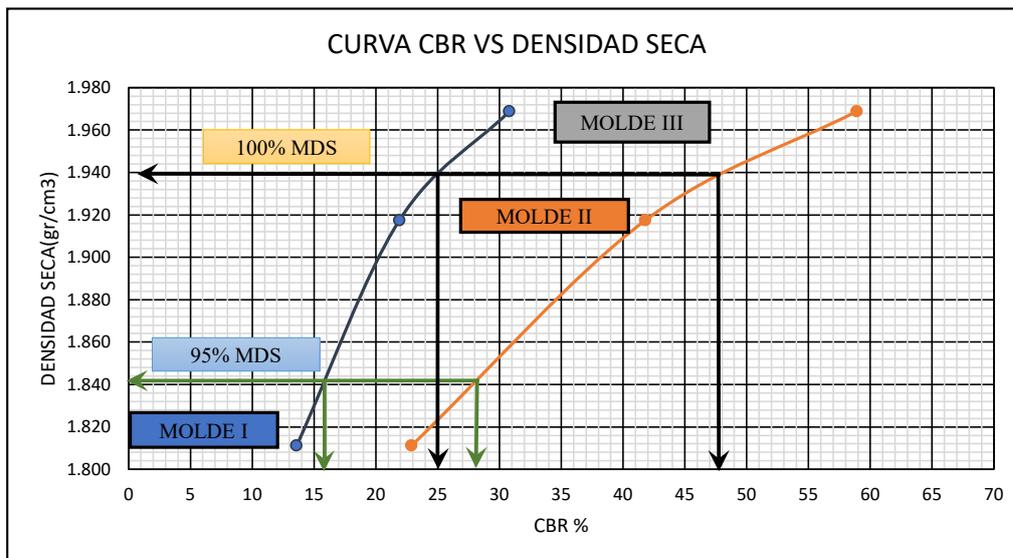
PENETRACIÓN

| PENETRACIÓN | | CARGA ESTANDAR kg/cm2 | MOLDE N° I | | MOLDE N° II | | MOLDE N° III | |
|-------------|-------|--------------------------|------------|---------|-------------|---------|--------------|---------|
| pulg | mm | | CARGA | PRESIÓN | CARGA | PRESIÓN | CARGA | PRESIÓN |
| 0.000 | 0.00 | | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.000 | 0.00 | 0.000 |
| 0.025 | 0.64 | | 29.40 | 1.50 | 57.30 | 2.918 | 101.20 | 5.154 |
| 0.050 | 1.27 | | 61.20 | 3.12 | 125.60 | 6.397 | 238.60 | 12.152 |
| 0.075 | 1.91 | | 95.20 | 4.85 | 231.40 | 11.785 | 397.60 | 20.250 |
| 0.100 | 2.54 | 70.00 | 144.60 | 7.36 | 344.10 | 17.525 | 514.80 | 26.219 |
| 0.150 | 3.81 | | 271.40 | 13.82 | 551.20 | 28.072 | 766.80 | 39.053 |
| 0.200 | 5.08 | 105.00 | 366.80 | 18.68 | 764.80 | 38.951 | 1051.40 | 53.547 |
| 0.250 | 6.35 | | 451.60 | 23.00 | 891.40 | 45.399 | 1264.50 | 64.400 |
| 0.300 | 7.62 | | 504.80 | 25.71 | 985.70 | 50.201 | 1402.80 | 71.444 |
| 0.400 | 10.16 | | 544.80 | 27.75 | 1062.40 | 54.108 | 1535.00 | 78.177 |



| MOLDE | Penetracion (pulg.) | Presion Aplicada (kg/cm ²) | Presion Patrón(Kg/cm ²) | C.B.R (%) |
|-------|---------------------|--|-------------------------------------|-----------|
| I | 0.1 | 7.36 | 70.00 | 13.6 |
| II | 0.1 | 17.525 | 70.00 | 21.9 |
| III | 0.1 | 26.219 | 70.00 | 30.8 |

| MOLDE | Penetracion (pulg.) | Presion Aplicada (kg/cm ²) | Presion Patrón(Kg/cm ²) | C.B.R (%) |
|-------|---------------------|--|-------------------------------------|-----------|
| I | 0.2 | 18.68 | 105.00 | 22.9 |
| II | 0.2 | 38.951 | 105.00 | 41.8 |
| III | 0.2 | 53.547 | 105.00 | 58.9 |



| | | 0.1" | 0.2" |
|---------------------|-------|--------------|--------------|
| C.B.R para 100% MDS | 1.939 | 25.00 | 47.88 |
| C.B.R para 95% MDS | 1.842 | 15.98 | 27.98 |

Proyecto : DISEÑO ÓPTIMO DEL PAVIMENTO UTILIZANDO ESCORIA DE HORNOS ELÉCTRICOS COMO MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE EN EL MERCADO LA PERLA-CHIMBOTE

UBICACIÓN : Mercado la Perla, Distrito: Chimbote, Provincia: Santa, Departamento: Ancash

Fecha : JULIO-2021

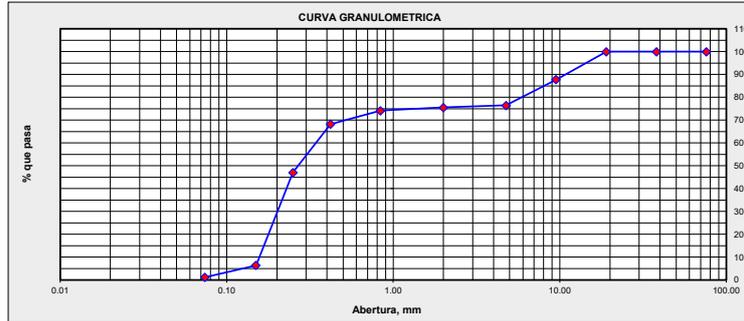
MUESTRA : C3

Responsables : Tesistas

DOSIFICACION : 25% DE ESCORIA

1. ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO (MTC E 107)

| Peso Total de la Muestra(gr) | | 1200.00 | |
|-------------------------------------|---------------|---------------------|--------|
| Peso Final de la Muestra(gr) | | 1197.03 | |
| Mallas | Abertura [mm] | Peso Retenido [grs] | % Pasa |
| 3" | 76.000 | 0.00 | 100.00 |
| 1 1/2" | 38.100 | 0.00 | 100.00 |
| 3/4" | 19.050 | 0.00 | 100.00 |
| 3/8" | 9.525 | 146.68 | 87.75 |
| N° 4 | 4.760 | 135.12 | 76.46 |
| N° 10 | 2.000 | 11.14 | 75.53 |
| N° 20 | 0.840 | 16.30 | 74.17 |
| N° 40 | 0.420 | 71.22 | 68.22 |
| N° 60 | 0.250 | 252.55 | 47.12 |
| N° 100 | 0.150 | 487.62 | 6.38 |
| N° 200 | 0.074 | 62.14 | 1.19 |
| < N° 200 | | 14.26 | 0.00 |



2. LIMITES DE CONSISTENCIA (MTC E 110- MTC E 111)

A. LIMITE LIQUIDO(MTC E 110)

| Procedimiento | Fórmula | Tara No | | | |
|-----------------------------------|-------------|---------|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1. No de Golpes | | | | | |
| 2. Peso Tara, [gr] | | | | | |
| 3. Peso Tara + Suelo Húmedo, [gr] | | | | | |
| 4. Peso Tara + Suelo Seco, [gr] | | | | | |
| 5. Peso Agua, [gr] | (3)-(4) | | | | |
| 6. Peso Suelo Seco, [gr] | (4)-(2) | | | | |
| 7. Contenido de Humedad, [%] | (5)/(6)X100 | | | | |

NO PRESENTA

B. LIMITE PLASTICO(MTC E 111)

| Procedimiento | Fórmula | Tara No | | | |
|-----------------------------------|-------------|---------|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1. Peso Tara, [gr] | | | | | |
| 2. Peso Tara + Suelo Húmedo, [gr] | | | | | |
| 3. Peso Tara + Suelo Seco, [gr] | | | | | |
| 4. Peso Agua, [gr] | (2)-(3) | | | | |
| 5. Peso Suelo Seco, [gr] | (3)-(1) | | | | |
| 6. Contenido de Humedad, [%] | (4)/(5)X100 | | | | |

NO PLASTICO



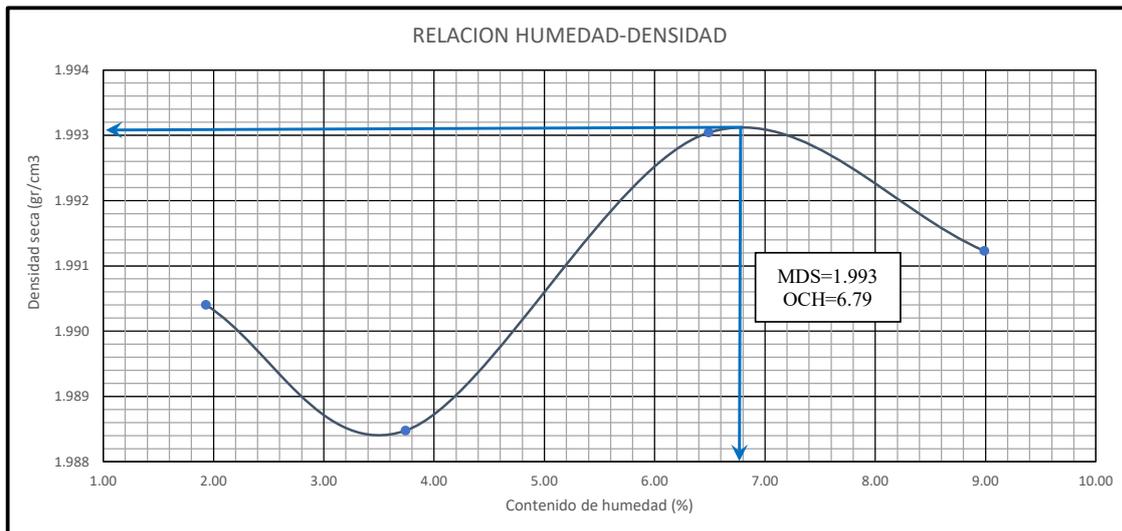
3. GRAVEDAD ESPECIFICA (MTC - E 113)

| Procedimiento | Fórmula | Tara No | | |
|--|---------|---------|--------|--------|
| | | 1 | 2 | 3 |
| 1. Peso Fiola, [gr] | | 172.12 | 176.04 | 184.25 |
| 2. Peso Suelo Seco, [gr] | | 100.00 | 100.00 | 100.00 |
| 3. Peso Fiola + Peso Suelo Seco, [gr] | (1)-(2) | 272.12 | 276.04 | 284.25 |
| 4. Peso Fiola + Agua, [gr] | | 666.86 | 672.35 | 682.05 |
| 5. Peso Fiola + Suelo Sueco + Agua, [gr] | | 729.94 | 735.47 | 745.06 |
| 6. Gravedad Especifica, [gr/cm3] | | 2.709 | 2.711 | 2.703 |
| 7. Gravedad Especifica, [%] | % | | 2.708 | |

RESUMEN

| | |
|---|---------------|
| Grava (No.4 < Diam < 3") | 23.54% |
| Grava Gruesa (3/4" < Diam < 3") | 0.00% |
| Grava Fina (N°4" < Diam < 3/4") | 23.54% |
| Arena (No.200 < Diam < No.4) | 75.27% |
| Arena Gruesa (No.10 < Diam < No.4) | 0.93% |
| Arena Media (No.40 < Diam < No.10) | 7.31% |
| Arena Fina (No.200 < Diam < No.40) | 67.03% |
| Finos (Diam < No.200) | 1.19% |
| Límite Líquido | N.P. |
| Límite Plástico | N.P. |
| Índice Plasticidad | N.P. |
| Peso Especifico | 2.708 |

| ENSAYO DE COMPACTACION | | | | | | | | | | |
|--|---|--------|--------|-------|--------|--------|--------------|--------------|--|--|
| PROCTOR MODIFICADO(MTC E 115) | | | | | | | | | | |
| PROYECTO | :DISEÑO ÓPTIMO DEL PAVIMENTO UTILIZANDO ESCORIA DE HORNOS ELÉCTRICOS COMO MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE EN EL MERCADO LA PERLA-CHIMBOTE | | | | | | | | | |
| UBICACIÓN | : Mercado la Perla, Distrito: Chimbote, Provincia: Santa, Departamento: Ancash | | | | | | | | | |
| MUESTRA: | : Calicata N°3 | | | | | | FECHA | : JULIO-2021 | | |
| DOSIFICACION | :25% DE ESCORIA | | | | | | | | | |
| DETERMINACION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD | | | | | | | | | | |
| Prueba N° | 01 | | 02 | | 03 | | 04 | | | |
| Peso del tarro (gr) | 29.62 | 27.65 | 28.36 | 27.25 | 29.21 | 27.48 | 27.87 | 28.51 | | |
| Peso del tarro + Muestra Humeda (gr) | 137.70 | 127.71 | 106.95 | 97.67 | 141.00 | 114.03 | 110.75 | 154.20 | | |
| Peso del tarro + Muestra seca (gr) | 135.57 | 125.91 | 104.09 | 95.16 | 134.18 | 108.75 | 103.94 | 143.80 | | |
| Peso del agua (gr) | 2.13 | 1.81 | 2.86 | 2.52 | 6.82 | 5.28 | 6.81 | 10.40 | | |
| Peso del material seco (gr) | 105.94 | 98.26 | 75.73 | 67.91 | 104.97 | 81.27 | 76.07 | 115.30 | | |
| Contenido de humedad (%) | 2.01 | 1.84 | 3.77 | 3.71 | 6.50 | 6.49 | 8.95 | 9.02 | | |
| % Promedio | 1.93 | | 3.74 | | 6.49 | | 8.99 | | | |
| DETERMINACION DE LA DENSIDAD | | | | | | | | | | |
| Contenido de humedad (%) | 1.93 | | 3.74 | | 6.49 | | 8.99 | | | |
| Peso del suelo + Molde (gr) | 3850 | | 3882 | | 3933 | | 3972 | | | |
| Peso del molde (gr) | 1942 | | 1942 | | 1937 | | 1931 | | | |
| Peso del suelo (gr) | 1908 | | 1940 | | 1996 | | 2041 | | | |
| Volumen del Molde (cm ³) | 940.45 | | 940.45 | | 940.45 | | 940.45 | | | |
| Densidad de Humedad (gr/cm ³) | 2.029 | | 2.063 | | 2.122 | | 2.170 | | | |
| Densidad seca (gr/cm ³) | 1.990 | | 1.988 | | 1.993 | | 1.991 | | | |
| Densidad máxima (gr/cm³) | | | | | | | 1.993 | | | |
| Humedad óptima (%) | | | | | | | 6.79% | | | |



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

PROYECTO : DISEÑO ÓPTIMO DEL PAVIMENTO UTILIZANDO ESCORIA DE HORNOS ELÉCTRICOS COMO MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE EN EL MERCADO LA PERLA-CHIMBOTE

UBICACIÓN: Mercado la Perla, Distrito: Chimbote, Provincia: Santa, Departamento: Ancash

FECHA: JULIO - 2021

MUESTRA : Calicata N°3 + 25% de Escoria

RESPONSABLES TESISTAS

DATOS DE LA MUESTRA

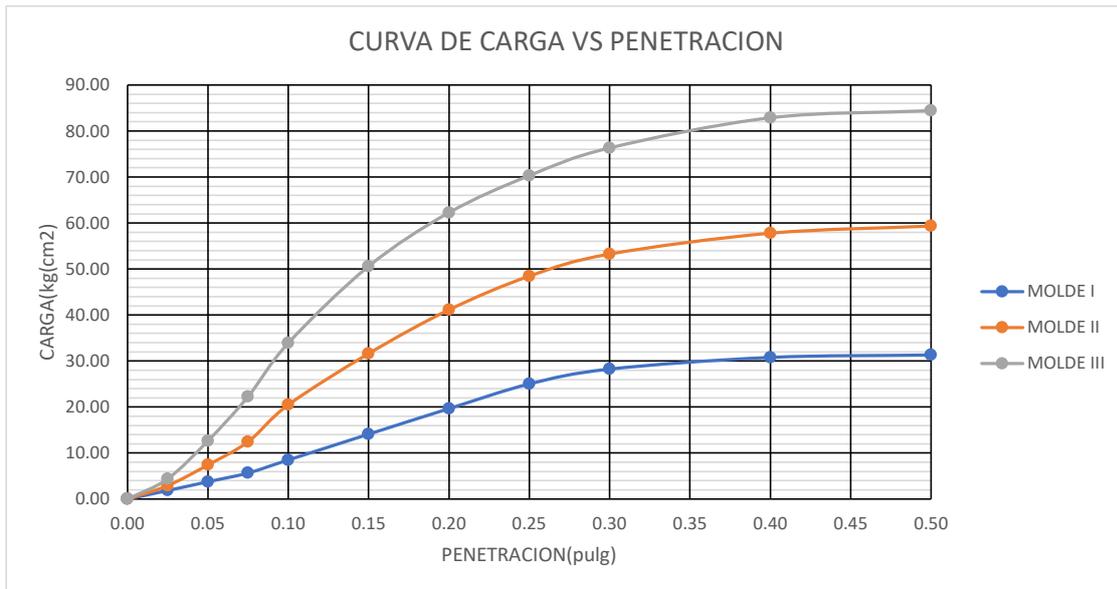
| | | | |
|---------------------|----------------|-------------------------|-------|
| MUESTRA: | Calicata N°3 | DENSIDAD MAXIMA: | 1.993 |
| DOFISICACIÓN | 25% de Escoria | HUMEDAD OPTIMA: | 6.79 |

COMPACTACIÓN

| Molde N° | 1 | 2 | 3 |
|--------------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| N° de golpes por capa | 12 | 26 | 56 |
| CONDICIONES DE LA MUESTRA | Despues de Mojado | Despues de Mojado | Despues de Mojado |
| Peso del molde + suelo húmedo (grs) | 11391 | 11671 | 11877 |
| Peso del molde (gramos) | 7172 | 7159 | 7160 |
| Peso del suelo húmedo (grs.) | 4219 | 4512 | 4717 |
| Volumen del molde (cc) | 2105 | 2105 | 2105 |
| Densidad húmeda (grs./cm3) | 2.00 | 2.14 | 2.24 |
| Densidad seca (grs./cm3) | 1.855 | 1.953 | 2.027 |
| Tarro N° | 10 | 12 | 16 |
| Peso del tarro + suelo húmedo (grs.) | 137.697 | 161.487 | 192.105 |
| Peso del tarro + suelo seco (grs.) | 129.665 | 149.588 | 176.458 |
| Peso del agua (grs.) | 8.03 | 11.899 | 15.647 |
| Peso del tarro (grs.) | 29.624 | 27.646 | 27.77 |
| Peso del suelo seco (grs.) | 100.04 | 121.94 | 148.69 |
| % de humedad | 8.03 | 9.76 | 10.52 |

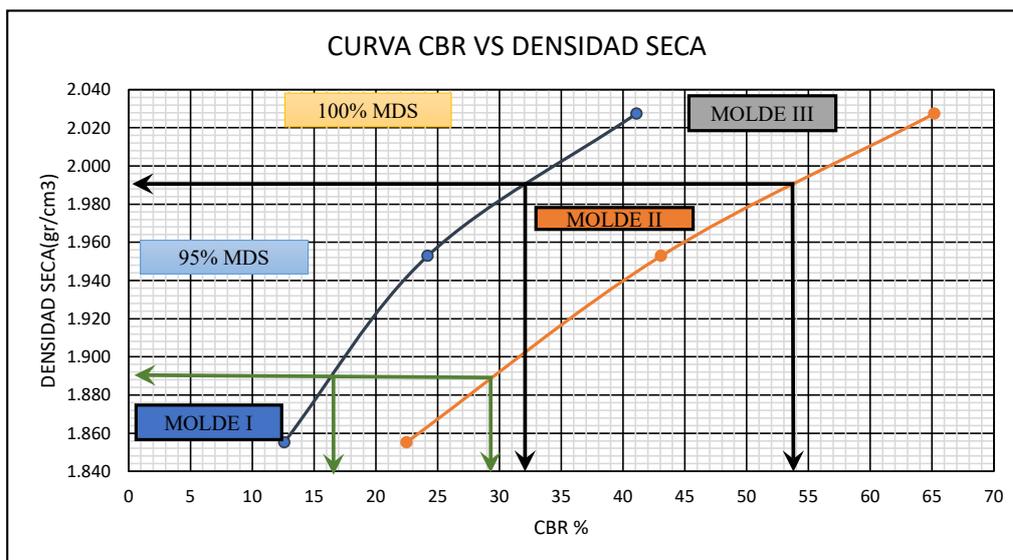
PENETRACIÓN

| PENETRACIÓN | | CARGA ESTANDAR kg/cm2 | MOLDE N° I | | MOLDE N° II | | MOLDE N° III | |
|-------------|-------|--------------------------|------------|---------|-------------|---------|--------------|---------|
| pulg | mm | | CARGA | PRESIÓN | CARGA | PRESIÓN | CARGA | PRESIÓN |
| 0.000 | 0.00 | | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.000 | 0.00 | 0.000 |
| 0.025 | 0.64 | | 36.40 | 1.85 | 57.30 | 2.918 | 86.60 | 4.411 |
| 0.050 | 1.27 | | 73.90 | 3.76 | 145.50 | 7.410 | 248.30 | 12.646 |
| 0.075 | 1.91 | | 111.40 | 5.67 | 244.60 | 12.457 | 437.50 | 22.282 |
| 0.100 | 2.54 | 70.00 | 166.70 | 8.49 | 402.00 | 20.474 | 665.70 | 33.904 |
| 0.150 | 3.81 | | 276.90 | 14.10 | 620.90 | 31.622 | 993.50 | 50.599 |
| 0.200 | 5.08 | 105.00 | 385.90 | 19.65 | 807.60 | 41.131 | 1222.40 | 62.256 |
| 0.250 | 6.35 | | 491.20 | 25.02 | 951.40 | 48.454 | 1380.50 | 70.308 |
| 0.300 | 7.62 | | 554.60 | 28.25 | 1045.70 | 53.257 | 1498.60 | 76.323 |
| 0.400 | 10.16 | | 604.50 | 30.79 | 1134.60 | 57.785 | 1627.30 | 82.878 |
| 0.500 | 12.70 | | 614.80 | 31.31 | 1165.20 | 59.343 | 1657.80 | 84.431 |



| MOLDE | Penetracion (pulg.) | Presion Aplicada (kg/cm ²) | Presion Patrón (Kg/cm ²) | C.B.R (%) |
|-------|---------------------|--|--------------------------------------|-----------|
| I | 0.1 | 8.49 | 70.00 | 12.6 |
| II | 0.1 | 20.474 | 70.00 | 24.2 |
| III | 0.1 | 33.904 | 70.00 | 41.1 |

| MOLDE | Penetracion (pulg.) | Presion Aplicada (kg/cm ²) | Presion Patrón (Kg/cm ²) | C.B.R (%) |
|-------|---------------------|--|--------------------------------------|-----------|
| I | 0.1 | 19.65 | 105.00 | 22.5 |
| II | 0.1 | 41.131 | 105.00 | 43.1 |
| III | 0.1 | 62.256 | 105.00 | 65.2 |



| | | 0.1" | 0.2" |
|---------------------|-------|-------|-------|
| C.B.R para 100% MDS | 1.993 | 32.00 | 53.97 |
| C.B.R para 95% MDS | 1.893 | 16.68 | 29.16 |

Proyecto : DISEÑO ÓPTIMO DEL PAVIMENTO UTILIZANDO ESCORIA DE HORNOS ELÉCTRICOS COMO MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE EN EL MERCADO LA PERLA-CHIMBOTE

UBICACIÓN : Mercado la Perla, Distrito: Chimbote, Provincia: Santa, Departamento: Ancash

Fecha : JULIO-2021

MUESTRA : C3

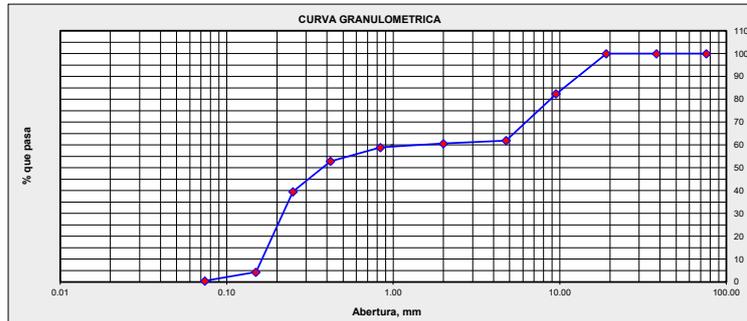
Responsables : Tesistas

DOSIFICACION : 40% DE ESCORIA

1. ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO (MTC E 107)

| | |
|--------------------------------------|---------|
| Peso Total de la Muestra (gr) | 1200.00 |
| Peso Final de la Muestra (gr) | 1194.54 |

| Mallas | Abertura [mm] | Peso Retenido [grs] | % Pasa |
|----------|---------------|---------------------|--------|
| 3" | 76.000 | 0.00 | 100.00 |
| 1 1/2" | 38.100 | 0.00 | 100.00 |
| 3/4" | 19.050 | 0.00 | 100.00 |
| 3/8" | 9.525 | 210.27 | 82.40 |
| N° 4 | 4.760 | 244.58 | 61.92 |
| N° 10 | 2.000 | 15.54 | 60.62 |
| N° 20 | 0.840 | 20.50 | 58.91 |
| N° 40 | 0.420 | 72.25 | 52.86 |
| N° 60 | 0.250 | 159.44 | 39.51 |
| N° 100 | 0.150 | 420.14 | 4.34 |
| N° 200 | 0.074 | 45.68 | 0.51 |
| < N° 200 | | 6.14 | 0.00 |



2. LIMITES DE CONSISTENCIA (MTC E 110- MTC E 111)

A. LIMITE LIQUIDO (MTC E 110)

| Procedimiento | Fórmula | Tara No | | | |
|-----------------------------------|-------------|---------|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1. No de Golpes | | | | | |
| 2. Peso Tara, [gr] | | | | | |
| 3. Peso Tara + Suelo Húmedo, [gr] | | | | | |
| 4. Peso Tara + Suelo Seco, [gr] | | | | | |
| 5. Peso Agua, [gr] | (3)-(4) | | | | |
| 6. Peso Suelo Seco, [gr] | (4)-(2) | | | | |
| 7. Contenido de Humedad, [%] | (5)/(6)X100 | | | | |

NO PRESENTA

B. LIMITE PLASTICO (MTC E 111)

| Procedimiento | Fórmula | Tara No | | | |
|-----------------------------------|-------------|---------|--|--|--|
| 1. Peso Tara, [gr] | | | | | |
| 2. Peso Tara + Suelo Húmedo, [gr] | | | | | |
| 3. Peso Tara + Suelo Seco, [gr] | | | | | |
| 4. Peso Agua, [gr] | (2)-(3) | | | | |
| 5. Peso Suelo Seco, [gr] | (3)-(1) | | | | |
| 6. Contenido de Humedad, [%] | (4)/(5)X100 | | | | |

NO PLASTICO



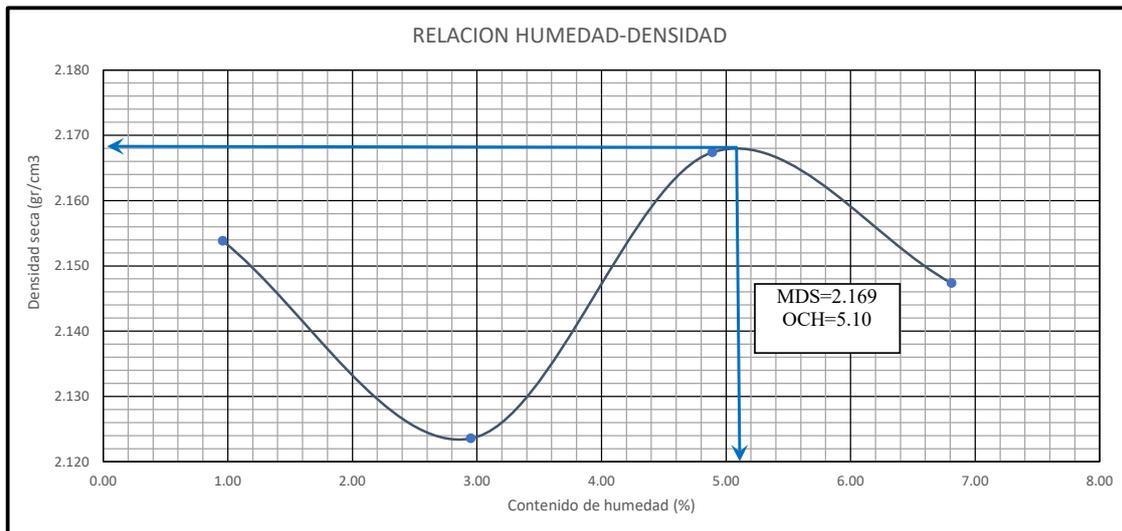
3. GRAVEDAD ESPECIFICA (MTC - E 113)

| Procedimiento | Fórmula | Tara No | | |
|--|---------|---------|--------|--------|
| | | 1 | 2 | 3 |
| 1. Peso Fiola, [gr] | | 175.45 | 183.75 | 176.04 |
| 2. Peso Suelo Seco, [gr] | | 100.00 | 100.00 | 100.00 |
| 3. Peso Fiola + Peso Suelo Seco, [gr] | (1)+(2) | 275.45 | 283.75 | 276.04 |
| 4. Peso Fiola + Agua, [gr] | | 671.51 | 681.84 | 669.26 |
| 5. Peso Fiola + Suelo Sueco + Agua, [gr] | | 735.77 | 746.12 | 733.46 |
| 6. Gravedad Especifica, [gr/cm3] | | 2.798 | 2.800 | 2.793 |
| 7. Gravedad Especifica, [%] | % | | 2.797 | |

RESUMEN

| | |
|---|---------------|
| Grava (No.4 < Diam < 3") | 38.08% |
| Grava Gruesa (3/4" < Diam < 3") | 0.00% |
| Grava Fina (N°4" < Diam < 3/4") | 38.08% |
| Arena (No.200 < Diam < No.4) | 61.41% |
| Arena Gruesa (No.10 < Diam < No.4) | 1.30% |
| Arena Media (No.40 < Diam < No.10) | 7.76% |
| Arena Fina (No.200 < Diam < No.40) | 52.34% |
| Finos (Diam < No.200) | 0.51% |
| Límite Líquido | N.P. |
| Límite Plástico | N.P. |
| Índice Plasticidad | N.P. |
| Peso Especifico | 2.797 |

| ENSAYO DE COMPACTACION | | | | | | | | | | |
|--|-----------------------|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------------|--------|--------------|
| PROCTOR MODIFICADO(MTC E 115) | | | | | | | | | | |
| PROYECTO | | :DISEÑO ÓPTIMO DEL PAVIMENTO UTILIZANDO ESCORIA DE HORNOS ELÉCTRICOS COMO MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE EN EL MERCADO LA PERLA-CHIMBOTE | | | | | | | | |
| UBICACIÓN | | : Mercado la Perla, Distrito: Chimbote, Provincia: Santa, Departamento: Ancash | | | | | | FECHA | | : JULIO-2021 |
| MUESTRA: | | : Calicata N°3 | | | | | | | | |
| DOSIFICACION | | :40% DE ESCORIA | | | | | | | | |
| DETERMINACION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD | | | | | | | | | | |
| Prueba N° | | 01 | | 02 | | 03 | | 04 | | |
| Peso del tarro | (gr) | 28.36 | 27.25 | 29.21 | 27.48 | 27.87 | 28.51 | 29.62 | 27.65 | |
| Peso del tarro + Muestra Humeda | (gr) | 102.75 | 104.23 | 142.12 | 125.95 | 144.07 | 136.65 | 127.28 | 122.23 | |
| Peso del tarro + Muestra seca | (gr) | 102.09 | 103.44 | 138.87 | 123.13 | 138.69 | 131.58 | 121.12 | 116.14 | |
| Peso del agua | (gr) | 0.65 | 0.79 | 3.25 | 2.82 | 5.38 | 5.07 | 6.17 | 6.09 | |
| Peso del material seco | (gr) | 73.73 | 76.20 | 109.66 | 95.64 | 110.81 | 103.07 | 91.49 | 88.49 | |
| Contenido de humedad | % | 0.89 | 1.03 | 2.96 | 2.95 | 4.85 | 4.92 | 6.74 | 6.88 | |
| % Promedio | | 0.96 | | 2.95 | | 4.89 | | 6.81 | | |
| DETERMINACION DE LA DENSIDAD | | | | | | | | | | |
| Contenido de humedad | % | 0.96 | | 2.95 | | 4.89 | | 6.81 | | |
| Peso del suelo + Molde | (gr) | 3976 | | 3998 | | 4075 | | 4094 | | |
| Peso del molde | (gr) | 1931 | | 1942 | | 1937 | | 1937 | | |
| Peso del suelo | (gr) | 2045 | | 2056 | | 2138 | | 2157 | | |
| Volumen del Molde | (cm ³) | 940.45 | | 940.45 | | 940.45 | | 940.45 | | |
| Densidad de Humedad | (gr/cm ³) | 2.174 | | 2.186 | | 2.273 | | 2.294 | | |
| Densidad seca | (gr/cm ³) | 2.154 | | 2.124 | | 2.167 | | 2.147 | | |
| Densidad máxima (gr/cm3) | | | | | | | | 2.169 | | |
| Humedad óptima (%) | | | | | | | | 5.05% | | |



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

PROYECTO : DISEÑO ÓPTIMO DEL PAVIMENTO UTILIZANDO ESCORIA DE HORNOS ELÉCTRICOS COMO MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE EN EL MERCADO LA PERLA-CHIMBOTE

UBICACIÓN: Mercado la Perla, Distrito: Chimbote, Provincia: Santa, Departamento: Ancash

FECHA: JULIO - 2021

MUESTRA : Calicata N°3 + 40% de Escoria

RESPONSABLES TESISTAS

DATOS DE LA MUESTRA

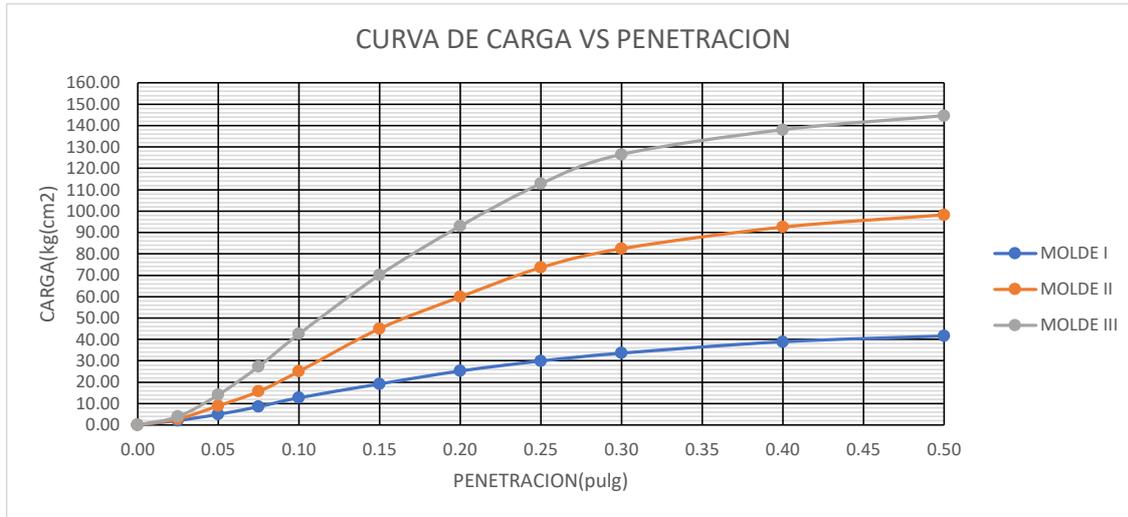
| | | | |
|---------------------|----------------|-------------------------|-------|
| MUESTRA: | Calicata N°3 | DENSIDAD MAXIMA: | 2.169 |
| DOFISICACIÓN | 40% de Escoria | HUMEDAD OPTIMA: | 5.10 |

COMPACTACIÓN

| Molde N° | 1 | 2 | 3 |
|--------------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| N° de golpes por capa | 12 | 26 | 56 |
| CONDICIONES DE LA MUESTRA | Despues de Mojado | Despues de Mojado | Despues de Mojado |
| Peso del molde + suelo húmedo (grs) | 11781 | 12101 | 12297 |
| Peso del molde (gramos) | 7172 | 7159 | 7160 |
| Peso del suelo húmedo (grs.) | 4609 | 4942 | 5137 |
| Volumen del molde (cc) | 2105 | 2105 | 2105 |
| Densidad húmeda (grs./cm3) | 2.19 | 2.35 | 2.44 |
| Densidad seca (grs./cm3) | 2.022 | 2.145 | 2.217 |
| Tarro N° | 10 | 12 | 16 |
| Peso del tarro + suelo húmedo (grs.) | 121.546 | 161.281 | 184.552 |
| Peso del tarro + suelo seco (grs.) | 114.323 | 149.751 | 170.249 |
| Peso del agua (grs.) | 7.22 | 11.53 | 14.303 |
| Peso del tarro (grs.) | 27.379 | 28.091 | 28.067 |
| Peso del suelo seco (grs.) | 86.94 | 121.66 | 142.18 |
| % de humedad | 8.31 | 9.48 | 10.06 |

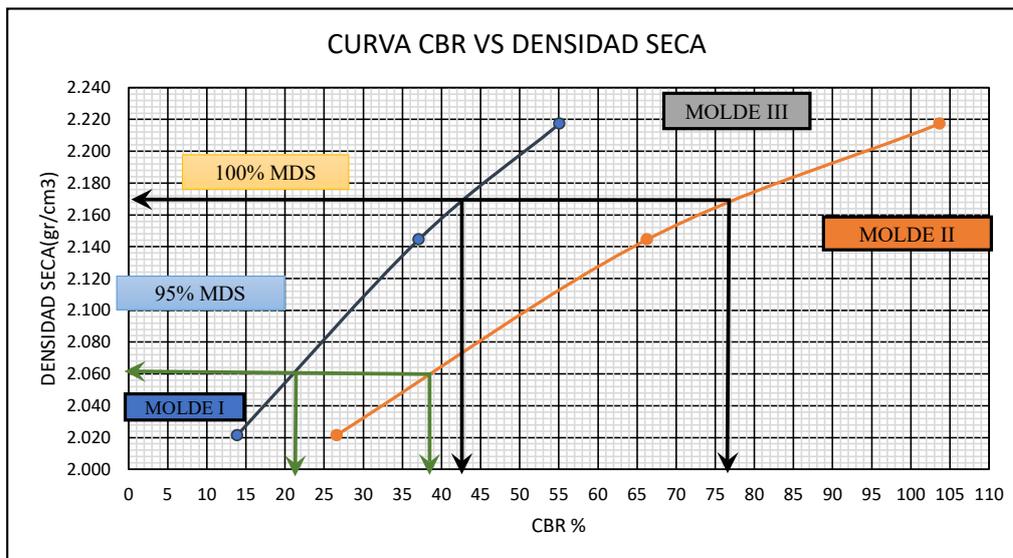
PENETRACIÓN

| PENETRACIÓN | | CARGA ESTANDAR kg/cm2 | MOLDE N° I | | MOLDE N° II | | MOLDE N° III | |
|-------------|-------|--------------------------|------------|---------|-------------|---------|--------------|---------|
| pulg | mm | | CARGA | PRESIÓN | CARGA | PRESIÓN | CARGA | PRESIÓN |
| 0.000 | 0.00 | | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.000 | 0.00 | 0.000 |
| 0.025 | 0.64 | | 41.20 | 2.10 | 55.40 | 2.821 | 77.30 | 3.937 |
| 0.050 | 1.27 | | 97.60 | 4.97 | 175.90 | 8.959 | 277.80 | 14.148 |
| 0.075 | 1.91 | | 167.80 | 8.55 | 307.60 | 15.666 | 536.40 | 27.319 |
| 0.100 | 2.54 | 70.00 | 249.60 | 12.71 | 491.60 | 25.037 | 835.40 | 42.547 |
| 0.150 | 3.81 | | 376.70 | 19.19 | 884.20 | 45.032 | 1377.90 | 70.176 |
| 0.200 | 5.08 | 105.00 | 495.70 | 25.25 | 1175.80 | 59.883 | 1826.60 | 93.028 |
| 0.250 | 6.35 | | 587.40 | 29.92 | 1444.90 | 73.588 | 2215.20 | 112.819 |
| 0.300 | 7.62 | | 659.30 | 33.58 | 1618.10 | 82.409 | 2484.10 | 126.514 |
| 0.400 | 10.16 | | 764.20 | 38.92 | 1816.40 | 92.508 | 2710.80 | 138.060 |
| 0.500 | 12.70 | | 816.70 | 41.59 | 1929.20 | 98.253 | 2839.60 | 144.620 |



| MOLDE | Penetracion (pulg.) | Presion Aplicada (kg/cm ²) | Presion Patrón(Kg/cm ²) | C.B.R (%) |
|-------|---------------------|--|-------------------------------------|-----------|
| I | 0.1 | 12.71 | 70.00 | 13.9 |
| II | 0.1 | 25.037 | 70.00 | 37.1 |
| III | 0.1 | 42.547 | 70.00 | 55.1 |

| MOLDE | Penetracion (pulg.) | Presion Aplicada (kg/cm ²) | Presion Patrón(Kg/cm ²) | C.B.R (%) |
|-------|---------------------|--|-------------------------------------|-----------|
| I | 0.1 | 25.25 | 105.00 | 26.6 |
| II | 0.1 | 59.883 | 105.00 | 66.30 |
| III | 0.1 | 93.028 | 105.00 | 103.7 |



| | | 0.1" | 0.2" |
|---------------------|-------|--------------|--------------|
| C.B.R para 100% MDS | 2.169 | 42.89 | 76.88 |
| C.B.R para 95% MDS | 2.061 | 21.10 | 38.12 |

7.6. Diseño de Pavimento

| | | |
|---|---|-------|
| Tasa anual de crecimiento. Vehículos ligeros | r | 0.59% |
| Tasa anual de crecimiento. Vehículos Pesados | r | 1.05% |
| Tiempo que pasa del estudio de proyecto hasta la ejecución (años) | r | 3 |

$$T_n = T_o (1 + r)^{n-1}$$

Tn= Tránsito proyectado al año "n" en veh/día
 To= Tránsito actual (año base) en veh/día
 n= año futuro de proyección
 r= tasa anual de crecimiento de tránsito

POBLACION FUTURA DE VEHICULOS

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|-------|-----------|-----------|-----------|----------|-----------|-------------|---|---|---|---|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|-----------|---|---|---|---|---|---|
| 2024 | Total | 3219.6584 | 2214.9064 | 6539.4884 | 1451.983 | 379.43805 | 12.14201772 | 0 | 0 | 0 | 0 | 23.485536 | 11.232213 | 13.274433 | 14.295544 | 16.00000 | 6.1266615 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
|------|-------|-----------|-----------|-----------|----------|-----------|-------------|---|---|---|---|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|-----------|---|---|---|---|---|---|

| TIPO DE VEHICULO | | IMDA | TIPO | NUMERO | CARGA | *f P. FLEXIBLE | f IMDA | |
|--------------------|---------------|-----------|--------|---------|--------|----------------|-----------|------------------|
| | | 2024 | EJE | LLANTAS | EJE Tn | | FLEXIBLE | |
| VEHICULOS LIVIANOS | Mototaxi | 3219.6584 | | 1 | 0.3 | 4.26883E-06 | 0.0137442 | |
| | | | | 2 | 0.6 | 6.83013E-05 | 0.219907 | |
| | Motocarga | 2214.9064 | | 1 | 0.3 | 4.26883E-06 | 0.0094551 | |
| | | | | 2 | 1 | 0.000527017 | 1.1672923 | |
| | Auto | 6539.4884 | SIMPLE | 2 | 1 | 0.000527017 | 3.4464186 | |
| | | | SIMPLE | 2 | 1 | 0.000527017 | 3.4464186 | |
| | Station wagon | 1451.983 | SIMPLE | 2 | 1 | 0.000527017 | 0.7652191 | |
| | | | SIMPLE | 2 | 1 | 0.000527017 | 0.7652191 | |
| | Pick Up | 379.43805 | SIMPLE | 2 | 1 | 0.000527017 | 0.1999701 | |
| | | | SIMPLE | 2 | 1 | 0.000527017 | 0.1999701 | |
| | Panel | 12.142018 | SIMPLE | 2 | 1 | 0.000527017 | 0.006399 | |
| | | | SIMPLE | 2 | 1 | 0.000527017 | 0.006399 | |
| CAMION | C2 | 23.485536 | SIMPLE | 2 | 7 | 1.265366749 | 29.717816 | |
| | | | SIMPLE | 4 | 11 | 3.238286961 | 76.052904 | |
| | C3 | 11.232213 | SIMPLE | 2 | 7 | 1.265366749 | 14.212869 | |
| | | | TANDEM | 8 | 18 | 2.019213454 | 22.680235 | |
| | C4 | 13.274433 | SIMPLE | 2 | 7 | 1.265366749 | 16.797026 | |
| | | | TRIDEM | 10 | 23 | 1.508183597 | 20.020282 | |
| SEMI TRAYLER | T2S1 | 14.295544 | SIMPLE | 2 | 7 | 1.265366749 | 18.089105 | |
| | | | SIMPLE | 4 | 11 | 3.238286961 | 46.293072 | |
| | | | SIMPLE | 4 | 11 | 3.238286961 | 46.293072 | |
| | T2S2 | 16 | SIMPLE | 2 | 7 | 1.265366749 | 20.245868 | |
| | | | SIMPLE | 4 | 11 | 3.238286961 | 51.812591 | |
| | | | TANDEM | 8 | 18 | 2.019213454 | 32.307415 | |
| | T2S3 | 6.1266615 | SIMPLE | 2 | 7 | 1.265366749 | 7.7524737 | |
| | | | SIMPLE | 4 | 11 | 3.238286961 | 19.839888 | |
| | | | TRIDEM | 12 | 25 | 1.706026248 | 10.452245 | |
| | TOTAL | | | | | | | 442.81328 |

| Pavimento Flexible | | |
|---|----------------------------------|---|
| Tasa anual de crecimiento. Vehículos pesados | r: | 1.05% |
| Tiempo de vida útil de pavimento (años) | n: | 20 |
| Factor Fca vehículos pesados | $F_{ca} = \frac{(1+r)^n - 1}{r}$ | Fca |
| | | 22.126 |
| N° de calzadas, sentidos y carriles por sentido | | 1 calzada, 2 sentidos, 1 carril por sentido |
| Factor direccional * Factor carril (Fd*Fc) | Fc*Fd | 0.5 |
| Número de ejes equivalentes (ESAL) | ESAL | 1788117.168 |
| #EE = 365 * (Σf.IMDa) * Fd * Fc * Fca | | |

DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE (METODO AASHTO-1993)

PROYECTO: DISEÑO ÓPTIMO DEL PAVIMENTO UTILIZANDO ESCORIA DE HORNOS ELÉCTRICOS COMO MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE EN EL MERCADO LA PERLA-CHIMBOTE

UBICACIÓN: Mercado la Perla, Distrito: Chimbote, Provincia: Santa, Departamento: Ancash

FECHA: Jul-21

MUESTRA: C2

RESPONSABLES: TESISTAS

1.- DATOS DE TRAFICO Y PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE:

| | |
|--|--------------|
| a) Periodo de diseño en años (t): | 20 |
| b) Tasa de crecimiento anual (g%): | 2.00% |
| c) Trafico (W18) | 1,788,117.17 |
| d) Indice de confianza (R%): | 85 |
| e) Desviación estándar normal (ZR): | -1.036 |
| f) Error de combinación estándar (So): | 0.45 |
| g) Indice de servicialidad inicial (pi): | 4.00 |
| h) Indice de servicialidad final (pt): | 2.50 |
| i) Diferencia de servicialidad (ΔPSI = pi - pt): | 1.50 |
| j) C.B.R. de la Sub Rasante (%): | 5.98 |
| k) Modulo de Resiliencia (MR=2555*CBR ^{0.64}): | 8,025.64 psi |

1.1.- CARACTERÍSTICAS DE MATERIALES:

| | |
|---|----------------|
| a) Modulo de Resiliencia del Concreto Asfáltico (Mr): | 430,000.00 psi |
| b) Modulo de Resiliencia de la Base Granular (Mr): | 28,300.00 psi |
| c) Modulo de Resiliencia de la Sub Base Granular (Mr): | 17,200.00 psi |

1.2.- DATOS PARA ESTRUCTURACION DEL REFUERZO:

A. COEFICIENTES ESTRUCTURALES DE CAPA

| | |
|---------------------------------------|------|
| Concreto Asfáltico Convencional (a1): | 0.43 |
| Base Granular : | 0.13 |
| Sub-Base: | 0.12 |

B. COEFICIENTES DE DRENAJE DE CAPA

| | |
|------------------------|------|
| Base granular (m2): | 1.00 |
| Subbase granular (m3): | 1.00 |

2.- NUMERO ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO (SN) :

$$\log_{10} (W_{18}) = Z_R \times S_p + 9.36 \times \log_{10} (SN + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10} \left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right)}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \times \log_{10} (M_R) - 8.07$$

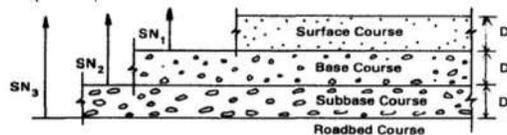
Reemplazando valores en la fórmula, para el calculo de SN teórico:

Para: SN = 3.666 (iterar)
6.252 = 6.252

SN = 3.666

3.- CALCULO DE ESPESORES DE CAPAS DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO:

El Número Estructural se calculará con la ecuación de diseño presentada por la AASHTO-93 se interrelacionan con los espesores de capa y drenaje según la expresión:



$$SN = a_1 D_1 + a_2 D_2 m_2 + a_3 D_3 m_3$$

ESTRUCTURA PROPUESTA:

| | |
|--------------------------------|----------------|
| Carpeta asfáltica = | 3 pulg |
| Base Granular = | 9 pulg |
| Sub Base = | 10 pulg |
| Espesor del pavimento = | 22 pulg |

SN teórico < SR propuesto

3.666 < 3.684

DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE (METODO AASHTO-1993)

| | | | |
|-------------------|--|----------------------|----------------|
| PROYECTO: | DISEÑO ÓPTIMO DEL PAVIMENTO UTILIZANDO ESCORIA DE HORNOS ELÉCTRICOS COMO MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE EN EL MERCADO LA PERLA-CHIMBOTE | | |
| UBICACIÓN: | Mercado la Perla, Distrito: Chimbote, Provincia: Santa, Departamento: Ancash | FECHA: | Jul-21 |
| MUESTRA: | C2 | DOSIFICACIÓN: | 15% de Escoria |
| | | RESPONSABLES: | TESISTAS |

1.- DATOS DE TRAFICO Y PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE:

| | |
|--|---------------|
| a) Periodo de diseño en años (t): | 20 |
| b) Tasa de crecimiento anual (g%): | 2.00% |
| c) Trafico (W18) | 1,788,117.17 |
| d) Indice de confianza (R%): | 85 |
| e) Desviación estándar normal (ZR): | -1.036 |
| f) Error de combinación estándar (So): | 0.45 |
| g) Indice de servicialidad inicial (pi): | 4.00 |
| h) Indice de servicialidad final (pt): | 2.50 |
| i) Diferencia de servicialidad (ΔPSI = pi - pt): | 1.50 |
| j) C.B.R. de la Sub Rasante (%): | 13.88 |
| k) Modulo de Resiliencia (MR=2555*CBR ^{0.64}): | 13,756.89 psi |

1.1.- CARACTERÍSTICAS DE MATERIALES:

| | |
|---|----------------|
| a) Modulo de Resiliencia del Concreto Asfáltico (Mr): | 430,000.00 psi |
| b) Modulo de Resiliencia de la Base Granular (Mr): | 28,300.00 psi |
| c) Modulo de Resiliencia de la Sub Base Granular (Mr): | 17,200.00 psi |

1.2.- DATOS PARA ESTRUCTURACION DEL REFUERZO:

A. COEFICIENTES ESTRUCTURALES DE CAPA

| | |
|---------------------------------------|------|
| Concreto Asfáltico Convencional (a1): | 0.43 |
| Base Granular : | 0.13 |
| Sub-Base: | 0.12 |

B. COEFICIENTES DE DRENAJE DE CAPA

| | |
|------------------------|------|
| Base granular (m2): | 1.00 |
| Subbase granular (m3): | 1.00 |

2.- NUMERO ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO (SN) :

$$\log_{10} (W_{18}) = Z_R \times S_p + 9.36 \times \log_{10} (SN + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10} \left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right)}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \times \log_{10} (M_R) - 8.07$$

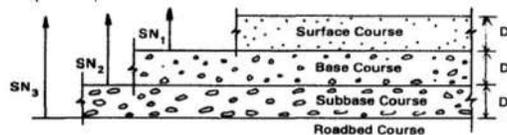
Reemplazando valores en la fórmula, para el calculo de SN teórico:

Para: SN = 2.953 (iterar)
6.252 = 6.252

SN = 2.953

3.- CALCULO DE ESPESORES DE CAPAS DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO:

El Número Estructural se calculará con la ecuación de diseño presentada por la AASHTO-93 se interrelacionan con los espesores de capa y drenaje según la expresión:



$$SN = a_1 D_1 + a_2 D_2 m_2 + a_3 D_3 m_3$$

ESTRUCTURA PROPUESTA:

| | |
|--------------------------------|------------------|
| Carpeta asfáltica = | 3 pulg |
| Base Granular = | 6.5 pulg |
| Sub Base = | 7 pulg |
| Espesor del pavimento = | 16.5 pulg |

SN teórico < SR propuesto

2.953 < 2.994

DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE (METODO AASHTO-1993)

| | | | |
|-------------------|--|----------------------|----------------|
| PROYECTO: | DISEÑO ÓPTIMO DEL PAVIMENTO UTILIZANDO ESCORIA DE HORNOS ELÉCTRICOS COMO MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE EN EL MERCADO LA PERLA-CHIMBOTE | | |
| UBICACIÓN: | Mercado la Perla, Distrito: Chimbote, Provincia: Santa, Departamento: Ancash | FECHA: | Jul-21 |
| MUESTRA: | C2 | DOSIFICACIÓN: | 25% de Escoria |
| | | RESPONSABLES: | TESISTAS |

1.- DATOS DE TRAFICO Y PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE:

| | |
|--|---------------|
| a) Periodo de diseño en años (t): | 20 |
| b) Tasa de crecimiento anual (g%): | 2.00% |
| c) Trafico (W18) | 1,788,117.17 |
| d) Indice de confianza (R%): | 85 |
| e) Desviación estándar normal (ZR): | -1.036 |
| f) Error de combinación estándar (So): | 0.45 |
| g) Indice de servicialidad inicial (pi): | 4.00 |
| h) Indice de servicialidad final (pt): | 2.50 |
| i) Diferencia de servicialidad (ΔPSI = pi - pt): | 1.50 |
| j) C.B.R. de la Sub Rasante (%): | 15.95 |
| k) Modulo de Resiliencia (MR=2555*CBR ^{0.64}): | 15,036.88 psi |

1.1.- CARACTERÍSTICAS DE MATERIALES:

| | |
|---|----------------|
| a) Modulo de Resiliencia del Concreto Asfáltico (Mr): | 430,000.00 psi |
| b) Modulo de Resiliencia de la Base Granular (Mr): | 28,300.00 psi |
| c) Modulo de Resiliencia de la Sub Base Granular (Mr): | 17,200.00 psi |

1.2.- DATOS PARA ESTRUCTURACION DEL REFUERZO:

A. COEFICIENTES ESTRUCTURALES DE CAPA

| | |
|---------------------------------------|------|
| Concreto Asfáltico Convencional (a1): | 0.43 |
| Base Granular : | 0.13 |
| Sub-Base: | 0.12 |

B. COEFICIENTES DE DRENAJE DE CAPA

| | |
|------------------------|------|
| Base granular (m2): | 1.00 |
| Subbase granular (m3): | 1.00 |

2.- NUMERO ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO (SN) :

$$\log_{10} (W_{18}) = Z_R \times S_p + 9.36 \times \log_{10} (SN + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10} \left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right)}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \times \log_{10} (M_R) - 8.07$$

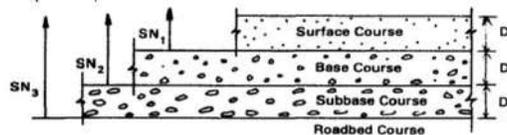
Reemplazando valores en la fórmula, para el calculo de SN teórico:

Para: SN = 2.849 (iterar)
6.252 = 6.252

SN = 2.849

3.- CALCULO DE ESPESORES DE CAPAS DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO:

El Número Estructural se calculará con la ecuación de diseño presentada por la AASHTO-93 se interrelacionan con los espesores de capa y drenaje según la expresión:



$$SN = a_1 D_1 + a_2 D_2 m_2 + a_3 D_3 m_3$$

ESTRUCTURA PROPUESTA:

| | |
|--------------------------------|------------------|
| Carpeta asfáltica = | 3 pulg |
| Base Granular = | 6 pulg |
| Sub Base = | 6.5 pulg |
| Espesor del pavimento = | 15.5 pulg |

SN teórico < SR propuesto

2.849 < 2.868

DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE (METODO AASHTO-1993)
PROYECTO: DISEÑO ÓPTIMO DEL PAVIMENTO UTILIZANDO ESCORIA DE HORNOS ELÉCTRICOS COMO MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE EN EL MERCADO LA PERLA-CHIMBOTE

UBICACIÓN: Mercado la Perla, Distrito: Chimbote, Provincia: Santa, Departamento: Ancash

FECHA: Jul-21

MUESTRA: C2

DOSIFICACIÓN: 40% de Escoria

RESPONSABLES: TESISTAS

1.- DATOS DE TRAFICO Y PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE:

| | |
|--|---------------|
| a) Periodo de diseño en años (t): | 20 |
| b) Tasa de crecimiento anual (g%): | 2.00% |
| c) Trafico (W18) | 1,788,117.17 |
| d) Indice de confianza (R%): | 85 |
| e) Desviación estándar normal (ZR): | -1.036 |
| f) Error de combinación estándar (So): | 0.45 |
| g) Indice de servicialidad inicial (pi): | 4.00 |
| h) Indice de servicialidad final (pt): | 2.50 |
| i) Diferencia de servicialidad (ΔPSI = pi - pt): | 1.50 |
| j) C.B.R. de la Sub Rasante (%): | 19.96 |
| k) Modulo de Resiliencia (MR=2555*CBR ^{0.64}): | 17,357.76 psi |

1.1.- CARACTERÍSTICAS DE MATERIALES:

| | |
|---|----------------|
| a) Modulo de Resiliencia del Concreto Asfáltico (Mr): | 430,000.00 psi |
| b) Modulo de Resiliencia de la Base Granular (Mr): | 28,300.00 psi |
| c) Modulo de Resiliencia de la Sub Base Granular (Mr): | 17,200.00 psi |

1.2.- DATOS PARA ESTRUCTURACION DEL REFUERZO:
A. COEFICIENTES ESTRUCTURALES DE CAPA

| | |
|---------------------------------------|------|
| Concreto Asfáltico Convencional (a1): | 0.43 |
| Base Granular : | 0.13 |
| Sub-Base: | 0.12 |

B. COEFICIENTES DE DRENAJE DE CAPA

| | |
|------------------------|------|
| Base granular (m2): | 1.00 |
| Subbase granular (m3): | 1.00 |

2.- NUMERO ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO (SN) :

$$\log_{10} (W_{18}) = Z_R \times S_p + 9.36 \times \log_{10} (SN + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10} \left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right)}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \times \log_{10} (M_R) - 8.07$$

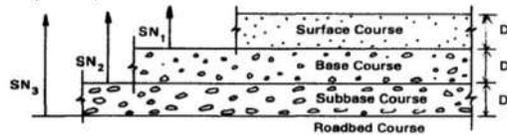
Reemplazando valores en la fórmula, para el calculo de SN teórico:

| | | | |
|-------|---------|-------|----------|
| Para: | SN = | 2.690 | (iterar) |
| | 6.252 = | 6.252 | |

| | |
|------|-------|
| SN = | 2.690 |
|------|-------|

3.- CALCULO DE ESPESORES DE CAPAS DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO:

El Número Estructural se calculará con la ecuación de diseño presentada por la AASHTO-93 se interrelacionan con los espesores de capa y drenaje según la expresión:



$$SN = a_1 D_1 + a_2 D_2 m_2 + a_3 D_3 m_3$$

ESTRUCTURA PROPUESTA:

| | |
|--------------------------------|------------------|
| Carpeta asfáltica = | 3 pulg |
| Base Granular = | 6 pulg |
| Sub Base = | 5.5 pulg |
| Espesor del pavimento = | 14.5 pulg |

SN teorico < SR propuesto

$$2.690 < 2.748$$

| | | |
|---|---|-------|
| Tasa anual de crecimiento. Vehículos ligeros | r | 0.59% |
| Tasa anual de crecimiento. Vehículos Pesados | r | 1.05% |
| Tiempo que pasa del estudio de proyecto hasta la ejecución (años) | r | 3 |

$$T_n = T_o (1 + r)^{n-1}$$

Tn= Tránsito proyectado al año "n" en veh/día
To= Tránsito actual (año base) en veh/día
n= año futuro de proyección
r= tasa anual de crecimiento de tránsito

POBLACION FUTURA DE VEHICULOS

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|-------|------------|-----------|------------|------------|------------|-------------|---|---|---|---|------------|------------|------------|-----------|----------|-----------|---|---|---|---|---|---|
| 2024 | Total | 3219.65837 | 2214.9064 | 6539.48838 | 1451.98295 | 379.438054 | 12.14201772 | 0 | 0 | 0 | 0 | 23.4855358 | 11.2322128 | 13.2744333 | 14.295544 | 16.00000 | 6.1266615 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
|------|-------|------------|-----------|------------|------------|------------|-------------|---|---|---|---|------------|------------|------------|-----------|----------|-----------|---|---|---|---|---|---|

| TIPO DE VEHICULO | IMDA 2024 | TIPO EJE | NUMERO LLANTAS | CARGA EJE Tn | *f P. FLEXIBLE | f IMDA FLEXIBLE | |
|------------------|---------------|-------------|-------------------|-----------------|----------------|--------------------|--------------------|
| | | | | | | | VEHICULOS LIVIANOS |
| | Motocarga | 2214.9064 | | 1 | 0.6 | 5.37391E-05 | 0.17302138 |
| | Auto | 6539.48838 | SIMPLE | 2 | 1 | 0.000436385 | 2.85373497 |
| | Station wagon | 1451.98295 | SIMPLE | 2 | 1 | 0.000436385 | 0.63362365 |
| | Pick Up | 379.438054 | SIMPLE | 2 | 1 | 0.000436385 | 0.16558109 |
| | Panel | 12.1420177 | SIMPLE | 2 | 1 | 0.000436385 | 0.0052986 |
| CAMION | C2 | 23.4855358 | SIMPLE | 2 | 7 | 1.272834178 | 29.8931926 |
| | | | SIMPLE | 4 | 11 | 3.334826273 | 78.3201817 |
| | C3 | 11.2322128 | SIMPLE | 2 | 7 | 1.272834178 | 14.2967443 |
| | | | TANDEM | 8 | 18 | 3.458004411 | 38.8410412 |
| | C4 | 13.2744333 | SIMPLE | 2 | 7 | 1.272834178 | 16.8961523 |
| | | | TRIDEM | 10 | 23 | 3.685352143 | 48.920961 |
| SEMI TRAYLER | T2S1 | 14.2955435 | SIMPLE | 2 | 7 | 1.272834178 | 18.1958564 |
| | | | SIMPLE | 4 | 11 | 3.334826273 | 47.6731541 |
| | | | SIMPLE | 4 | 11 | 3.334826273 | 47.6731541 |
| | T2S2 | 16 | SIMPLE | 2 | 7 | 1.272834178 | 20.3653468 |
| | | | SIMPLE | 4 | 11 | 3.334826273 | 53.3572204 |
| | | | TANDEM | 8 | 18 | 3.458004411 | 55.3280706 |
| | T2S3 | 6.1266615 | SIMPLE | 2 | 7 | 1.272834178 | 7.79822415 |
| | | SIMPLE | 4 | 11 | 3.334826273 | 20.4313517 | |
| | | TRIDEM | 12 | 25 | 4.164931279 | 25.5171241 | |
| | | | | | TOTAL | | 531.980856 |

| Pavimento Flexible | | |
|---|-------------------------------|--|
| Tasa anual de crecimiento. Vehículos pesados | r: | 1.05% |
| Tiempo de vida útil de pavimento (años) | n: | 20 |
| Factor Fca vehículos pesados | $Fca = \frac{(1+r)^n - 1}{r}$ | Fca |
| | | 22.126 |
| N° de calzadas, sentidos y carriles por sentido | | 1 calzada, 2 sentidos, 1 carril por sentido |
| Factor direccional * Factor carril (Fd*Fc) | Fc*Fd | 0.5 |
| Número de ejes equivalentes (ESAL) | ESAL | 2148183.337 |
| #EE = 365 * (Σf.IMDa) * Fd * Fc * Fca | | |

DISEÑO DE PAVIMENTO RIGIDO (METODO AASHTO-1993)

PROYECTO: DISEÑO ÓPTIMO DEL PAVIMENTO UTILIZANDO ESCORIA DE HORNOS ELÉCTRICOS COMO MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE EN EL MERCADO LA PERLA-CHIMBOTE

UBICACIÓN: Mercado la Perla, Distrito: Chimbote, Provincia: Santa, Departamento: Ancash

FECHA: Jul-21

MUESTRA: C2

RESPONSABLES: TESISISTAS

1.- DATOS DE TRAFICO Y PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE:

| | |
|--|-----------|
| a) Periodo de diseño en años (t): | 20 |
| b) Tasa de crecimiento anual (g%): | 2.00% |
| c) Trafico ($W_{18} = 142800 \times \{ \{ (1+g)^t - 1 \} / g \}$) | 2,148,183 |
| d) Índice de confianza (R%): | 85 |
| e) Desviación estándar normal (Z _R): | -1.036 |
| f) Error de combinación estándar (S _o): | 0.35 |
| g) Índice de servicialidad inicial (p _i): | 4.30 |
| h) Índice de servicialidad final (p _t): | 2.50 |
| i) Diferencia de servicialidad (ΔPSI = p _i - p _t): | 1.80 |
| j) C.B.R. de la Sub Rasante (%): | 5.98 |

2.- PARAMETROS DEL CONCRETO DE CEMENTO PORTLAND (PCC):

| | | |
|---|--------------------------|-----------|
| a) Resistencia del concreto: | 280 kg/cm ² = | 3,983 psi |
| b) Módulo de Elasticidad del Concreto (E _c = 57000 * f _c ^{0.5}): | 3,597,112.80 | psi |
| c) Modulo Rotura del Concreto (S _c = 7.5 a 12 * f _c ^{0.5}): | 615 | psi |

3.- OTROS PARAMETROS DE DISEÑO:

| | |
|---|---------|
| a) Coeficiente de drenaje (C _d): | 1.0 |
| b) Coeficiente de Transmision de carga (J): | 2.8 |
| c) Módulo de Reacción de la subrasante (k): | 157 pci |

4.- CARACTERISTICAS DE MATERIALES:

| | |
|---|------------|
| a) Espesor Comercial de la Sub-Base Granular: | 6.00 pulg |
| b) Módulo de Reacción de la Sub-Base (k): | 188.86 pci |

5.- CALCULO DEL ESPESOR DE LOSA (D) PARA PAVIMENTOS RIGIDOS:

$$\log(W_{18}) = Z_R \times S_o + 7.35 \log(D + 1) - 0.06 + \frac{\log \left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right)}{1 + \frac{1.624 \times 10^7}{(D + 1)^{8.46}}} + (4.22 - 0.32 p_t) \log \left[\frac{S'_c \times C_d (D^{0.75} - 1.132)}{215.63 \times J \left[D^{0.75} - \frac{18.42}{(E_c/k)^{0.25}} \right]} \right]$$

Reemplazando valores en la fórmula, para el calculo de "D":

Para: D = 6.991 pulg (iterar)

6.332 = 6.332

∴ D = 7.00 pulg

ESTRUCTURA REQUERIDA:

| | |
|--------------------------------|----------------|
| Losa de concreto = | 7.00 pulg |
| Sub-Base Granular = | 6.00 pulg |
| Espesor del pavimento = | 13 pulg |

DISEÑO DE PAVIMENTO RIGIDO (METODO AASHTO-1993)

PROYECTO: DISEÑO ÓPTIMO DEL PAVIMENTO UTILIZANDO ESCORIA DE HORNOS ELÉCTRICOS COMO MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE EN EL MERCADO LA PERLA-CHIMBOTE

UBICACIÓN: Mercado la Perla, Distrito: Chimbote, Provincia: Santa, Departamento: Ancash **FECHA:** Jul-21

MUESTRA: C2 **DOSIFICACIÓN:** 15% de Escoria **RESPONSABLES:** TESISISTAS

1.- DATOS DE TRAFICO Y PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE:

- a) Periodo de diseño en años (t): 20
- b) Tasa de crecimiento anual (g%): 2.00%
- c) Trafico ($W_{18} = 142800 \times \{ \{ (1 + g)^t - 1 \} / g \}$) 2,148,183
- d) Indice de confianza (R%): 85
- e) Desviación estándar normal (Z_R): -1.036
- f) Error de combinación estándar (S_o): 0.35
- g) Indice de servicialidad inicial (p_i): 4.30
- h) Indice de servicialidad final (p_t): 2.50
- i) Diferencia de servicialidad ($\Delta PSI = p_i - p_t$): 1.80
- j) C.B.R. de la Sub Rasante (%): 13.88

2.- PARAMETROS DEL CONCRETO DE CEMENTO PORTLAND (PCC):

- a) Resistencia del concreto: 280 kg/cm² = 3,983 psi
- b) Módulo de Elasticidad del Concreto ($E_c = 57000 * f_c^{0.5}$): 3,597,112.80 psi
- c) Modulo Rotura del Concreto ($S'_c = 7.5 * f_c^{0.5}$): 615 psi

3.- OTROS PARAMETROS DE DISEÑO:

- a) Coeficiente de drenaje (C_d): 1.0
- b) Coeficiente de Transmision de carga (J): 2.8
- c) Módulo de Reacción de la subrasante (k): 219 psi

4.- CARACTERISTICAS DE MATERIALES:

- a) Espesor Comercial de la Sub-Base Granular: 6.00 pulg
- b) Módulo de Reacción de la Sub-Base (k): 245.16 pci

5.- CALCULO DEL ESPESOR DE LOSA (D) PARA PAVIMENTOS RIGIDOS:

$$\log(W_{18}) = Z_R \times S_o + 7.35 \log(D + 1) - 0.06 + \frac{\log \left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right)}{1 + \frac{1.624 \times 10^7}{(D + 1)^{8.46}}} + (4.22 - 0.32 p_t) \log \left[\frac{S'_c \times C_d (D^{0.75} - 1.132)}{215.63 \times J \left[D^{0.75} - \frac{18.42}{(E_c/k)^{0.25}} \right]} \right]$$

Reemplazando valores en la fórmula, para el calculo de "D":

Para: D = 6.810 pulg (iterar)
 6.332 = 6.332

∴ D = 6.80 pulg

ESTRUCTURA REQUERIDA:

- Losa de concreto = 6.80 pulg
- Sub-Base Granular = 6.00 pulg
- Espeor del pavimento = 12.8 pulg**

DISEÑO DE PAVIMENTO RIGIDO (METODO AASHTO-1993)

PROYECTO: DISEÑO ÓPTIMO DEL PAVIMENTO UTILIZANDO ESCORIA DE HORNOS ELÉCTRICOS COMO MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE EN EL MERCADO LA PERLA-CHIMBOTE

UBICACIÓN: Mercado la Perla, Distrito: Chimbote, Provincia: Santa, Departamento: Ancash

FECHA: Jul-21

MUESTRA: C2

DOSIFICACIÓN: 25% de Escoria

RESPONSABLES: TESISISTAS

1.- DATOS DE TRAFICO Y PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE:

| | |
|--|-----------|
| a) Periodo de diseño en años (t): | 20 |
| b) Tasa de crecimiento anual (g%): | 2.00% |
| c) Trafico ($W_{18} = 142800 \times \left[\frac{(1+g)^t - 1}{g} \right]$) | 2,148,183 |
| d) Índice de confianza (R%): | 85 |
| e) Desviación estándar normal (Z_R): | -1.036 |
| f) Error de combinación estándar (S_o): | 0.35 |
| g) Índice de servicialidad inicial (p_i): | 4.30 |
| h) Índice de servicialidad final (p_t): | 2.50 |
| i) Diferencia de servicialidad ($\Delta PSI = p_i - p_t$): | 1.80 |
| j) C.B.R. de la Sub Rasante (%): | 15.95 |

2.- PARAMETROS DEL CONCRETO DE CEMENTO PORTLAND (PCC):

| | | |
|--|--------------------------|-----------|
| a) Resistencia del concreto: | 280 kg/cm ² = | 3,983 psi |
| b) Módulo de Elasticidad del Concreto ($E_c = 57000 * f_c^{0.5}$): | 3,597,112.80 | psi |
| c) Modulo Rotura del Concreto ($S'_c = 7.5 * f_c^{0.5}$): | 615 | psi |

3.- OTROS PARAMETROS DE DISEÑO:

| | |
|---|------------|
| a) Coeficiente de drenaje (C_d): | 1.0 |
| b) Coeficiente de Transmision de carga (J): | 2.8 |
| c) Módulo de Reacción de la subrasante (k): | 229.75 pci |

4.- CARACTERISTICAS DE MATERIALES:

| | |
|---|------------|
| a) Espesor Comercial de la Sub-Base Granular: | 6.00 pulg |
| b) Módulo de Reacción de la Sub-Base (k): | 256.05 pci |

5.- CALCULO DEL ESPESOR DE LOSA (D) PARA PAVIMENTOS RIGIDOS:

$$\log(W_{18}) = Z_R \times S_o + 7.35 \log(D + 1) - 0.06 + \frac{\log \left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right)}{1 + \frac{1.624 \times 10^7}{(D + 1)^{8.46}}} + (4.22 - 0.32 p_i) \log \left[\frac{S'_c \times C_d (D^{0.75} - 1.132)}{215.63 \times J \left[D^{0.75} - \frac{18.42}{(E_c/k)^{0.25}} \right]} \right]$$

Reemplazando valores en la fórmula, para el calculo de "D":

Para: $D = 6.774$ pulg (iterar)

$6.332 = 6.332$

∴ $D = 6.80$ pulg

ESTRUCTURA REQUERIDA:

| | |
|--------------------------------|---------------------|
| Losa de concreto = | 6.80 pulg = |
| Sub-Base Granular = | 6.00 pulg = |
| Espesor del pavimento = | 12.80 pulg = |

DISEÑO DE PAVIMENTO RIGIDO (METODO AASHTO-1993)

PROYECTO: DISEÑO ÓPTIMO DEL PAVIMENTO UTILIZANDO ESCORIA DE HORNOS ELÉCTRICOS COMO MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE EN EL MERCADO LA PERLA-CHIMBOTE

UBICACIÓN: Mercado la Perla, Distrito: Chimbote, Provincia: Santa, Departamento: Ancash

FECHA: Jul-21

MUESTRA: C2

DOSIFICACIÓN: 40% de Escoria

RESPONSABLES: TESISISTAS

1.- DATOS DE TRAFICO Y PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE:

| | |
|--|-----------|
| a) Periodo de diseño en años (t): | 20 |
| b) Tasa de crecimiento anual (g%): | 2.00% |
| c) Trafico ($W_{18} = 142800 \times \{ \{ (1+g)^t - 1 \} / g \}$) | 2,148,183 |
| d) Indice de confianza (R%): | 85 |
| e) Desviación estándar normal (Z _R): | -1.036 |
| f) Error de combinación estándar (S _o): | 0.35 |
| g) Indice de servicialidad inicial (p _i): | 4.30 |
| h) Indice de servicialidad final (p _t): | 2.50 |
| i) Diferencia de servicialidad (ΔPSI = p _i - p _t): | 1.80 |
| j) C.B.R. de la Sub Rasante (%): | 19.96 |

2.- PARAMETROS DEL CONCRETO DE CEMENTO PORTLAND (PCC):

| | | |
|---|--------------------------|-----------|
| a) Resistencia del concreto: | 280 kg/cm ² = | 3,983 psi |
| b) Módulo de Elasticidad del Concreto (E _c = 57000 * f _c ^{0.5}): | 3,597,112.80 | psi |
| c) Modulo Rotura del Concreto (S _c = 7.5 a 12 * f _c ^{0.5}): | 615 | psi |

3.- OTROS PARAMETROS DE DISEÑO:

| | |
|---|---------|
| a) Coeficiente de drenaje (C _d): | 1.0 |
| b) Coeficiente de Transmision de carga (J): | 2.8 |
| c) Módulo de Reacción de la subrasante (k): | 250 psi |

4.- CARACTERISTICAS DE MATERIALES:

| | |
|---|------------|
| a) Espesor Comercial de la Sub-Base Granular: | 6.00 pulg |
| b) Módulo de Reacción de la Sub-Base (k): | 277.16 pci |

5.- CALCULO DEL ESPESOR DE LOSA (D) PARA PAVIMENTOS RIGIDOS:

$$\log(W_{18}) = Z_R \times S_o + 7.35 \log(D + 1) - 0.06 + \frac{\log\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{1 + \frac{1.624 \times 10^7}{(D + 1)^{8.46}}} + (4.22 - 0.32p_i) \log\left[\frac{S'_c \times C_d (D^{0.75} - 1.132)}{215.63 \times J \left[D^{0.75} - \frac{18.42}{(E_c/k)^{0.25}} \right]}\right]$$

Reemplazando valores en la fórmula, para el calculo de "D":

Para: D = 6.710 pulg (iterar)
6.332 = 6.332

∴ D = 6.75 pulg

ESTRUCTURA REQUERIDA:

| | |
|-------------------------------|-------------------|
| Losa de concreto = | 6.75 pulg |
| Sub-Base Granular = | 6.00 pulg |
| Espeor del pavimento = | 12.75 pulg |

7.7. Panel Fotográfico

TRABAJOS EN CAMPO



Figura N°01: vías colectoras del mercado La Perla.



Figura N°02: vías colectoras del mercado La Perla.



Figura N°03: vías colectoras del mercado La Perla.



Figura N°04: vías colectoras del mercado La Perla.



Figura N°05: señalización en calicata N°01.



Figura N°06: excavación de calicata N°01 a una profundidad de 1.50m



Figura N°07: excavación y toma de muestra en la calicata N°02



Figura N°08: calicata N°02 con profundidad de 1.50m



Figura N°09: excavación y toma de muestra en la calicata N°03



Figura N°10: calicata N°03 con profundidad de 1.50m



Figura N°11: calicata N°04 con profundidad de 1.50m



Figura N°12: excavación y toma de muestra en la calicata N°04

TRABAJOS DE LABORATORIO



Figura N°13, 14 Y 15: cuarteo de muestra representativa de la calicata N°01



Figura N°16, 17 Y 18:
determinación de
contenido de humedad de
las muestras de suelo.



Figura N°19, 20 y 21:
cuarteo de muestra representativa y determinación de contenido de humedad.



Figura N°22: muestra representativa de suelo, pasada por el tamiz N°40



Figura N°23: preparación de la muestra de suelo para posteriormente ser aplicada en la copa de Casagrande y determinar su contenido líquido.



Figura N°24: aplicación de la muestra húmeda en la copa de casa grande, mediante una espátula



Figura N°25: determinación del límite líquido, haciendo uso de la copa de Casagrande.

(MTC E 110)



Figura N°26, 27 y 28:
realización de tamizaje de
la muestra para determinar
su análisis granulométrico
(MTC E 107)

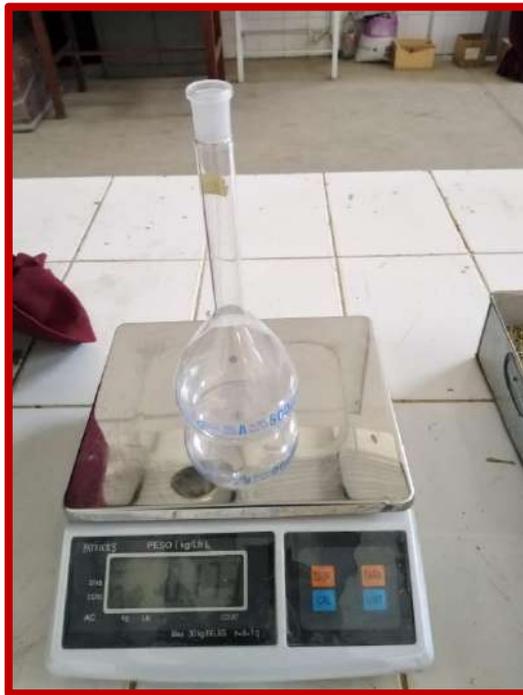


Figura N°29 y 30: llenado con agua destilada del picnómetro, hasta la marca de calibración



Figura N°31 y 32: peso de muestra representativa y vertido de este en el picnómetro haciendo uso del embudo.



Figura N°33 y 34: proceso de ebullición para posteriormente determinar la gravedad específica del sólidos de suelos mediante picnómetro de agua (MTC E 113)



Figura N°34 y 35: preparación de muestra representativa para el ensayo de Proctor modificado del terreno natural.



Figura N°36: compactación del suelo natural, mediante un pisón manual dando 25 golpes por capa.



Figura N°37 y 38: peso de la muestra compactada y obtención de muestra representativa para determinar su óptimo contenido de humedad del terreno natural



Figura N°39, 40 y 41: toma de muestra, compactación de la mezcla de suelo con su óptimo contenido de humedad, haciendo uso del pisón en 5 capas de suelo natural.



Figura N°42: se colocan las sobre cargas anular, circular y la placa perforada con vástago sobre los moldes de CBR



Figura N°43: se procede a la saturación, para eso se coloca el trípode con el dial de deformaciones sobre el canto de molde y se ajusta el vástago de placa perforada. Se registra la lectura antes de sumergir al agua.



Figura N°44: molde sumergido en agua, proceso de saturación del terreno natural.



Figura N°45: cuarteo del material de escoria de horno eléctrico.



Figura N°46: tamizaje del material de escoria por la malla N°04



Figura N°47 y 48: preparación de muestra de suelo natural de la calicata 1 con 15% de escoria



Figura N°49: compactación del suelo en 5 capas, haciendo uso del pisón manual



Figura N°50 y 51: retiro de collar sobre el molde de 6” y peso del molde con la muestra previamente enrasada y compactada.



Figura N°52: molde sumergido en agua, proceso de saturación del terreno natural con 15% de escoria



Figura N°53: preparación de muestra de suelo natural de la calicata 1 con 25% de escoria



Figura N°54: compactación del suelo en 5 capas, haciendo uso del pisón manual



Figura N°55 y 56: preparación de suelo natural de la calicata N°2 con 24% de escoria y peso del molde y material previamente compactado y enrasado.



Figura N°57 y 58: preparación de suelo natural de la calicata N°4 con 15% y 25% de escoria.



Figura N°59: colocación del collar y disco espaciador en el molde de 6”, antes de iniciar el proceso de compactación.



Figura N°60 y 61: preparación de suelo natural de la calicata N°2 con 40% de escoria mezclado con su óptimo contenido de humedad



Figura N°62: colocación del material de suelo natural mezclado con escoria, para iniciar el proceso de compactación por capas.



Figura N°63 y 64: compactación del material en 5 capas, haciendo uso del pisón manual y peso del molde con la mezcla de suelo natural y escoria compactada.



Figura N°65: colocación de sobre cargas anular, circular y la placa perforada con vástago sobre los moldes de CBR



Figura N°66 y 67: colocación de moldes en agua, proceso de saturación.



Figura N°68: ensayo de penetración de las muestras en las prensas hidráulicas

luego de haber pasado 96 horas en el agua.



Figura N°69: peso de las muestras de suelo extraídas después del ensayo de penetración para determinar su contenido de humedad.

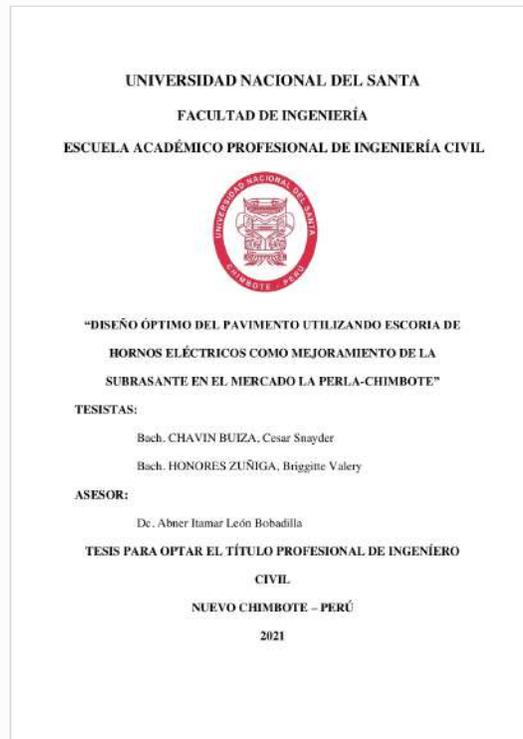


Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por Turnitin. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega: Chavin Buiza, Cesar Snayder Honores Zuñiga, Brigitte Valery
Título del ejercicio: Turnitin
Título de la entrega: DISEÑO ÓPTIMO DEL PAVIMENTO UTILIZANDO ESCORIA DE ...
Nombre del archivo: TESIS_CHAVIN_Y_HONORES-APROBADO.pdf
Tamaño del archivo: 14.8M
Total páginas: 319
Word count: 61,501
Total de caracteres: 300,792
Fecha de entrega: 18-ene.-2022 07:21a. m. (UTC+1000)
Identificador de la entrega... 1743154472



DISEÑO ÓPTIMO DEL PAVIMENTO UTILIZANDO ESCORIA DE HORNOS ELÉCTRICOS COMO MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE EN EL MERCADO LA PERLA-CHIMBOTE

INFORME DE ORIGINALIDAD

26%

INDICE DE SIMILITUD

26%

FUENTES DE INTERNET

2%

PUBLICACIONES

4%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

| | | |
|---|--|----|
| 1 | repositorio.uns.edu.pe Fuente de Internet | 5% |
| 2 | www.slideshare.net Fuente de Internet | 2% |
| 3 | hdl.handle.net Fuente de Internet | 2% |
| 4 | dspace.unitru.edu.pe Fuente de Internet | 2% |
| 5 | www.scribd.com Fuente de Internet | 1% |
| 6 | es.slideshare.net Fuente de Internet | 1% |
| 7 | repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet | 1% |
| 8 | cybertesis.urp.edu.pe Fuente de Internet | 1% |

| | | |
|----|--|------|
| 9 | repository.udistrital.edu.co Fuente de Internet | 1 % |
| 10 | pt.scribd.com Fuente de Internet | 1 % |
| 11 | www.indecopi.gob.pe Fuente de Internet | 1 % |
| 12 | repositorio.upn.edu.pe Fuente de Internet | 1 % |
| 13 | tesis.ucsm.edu.pe Fuente de Internet | <1 % |
| 14 | pirhua.udep.edu.pe Fuente de Internet | <1 % |
| 15 | repositorio.uncp.edu.pe Fuente de Internet | <1 % |
| 16 | repositorio.unsch.edu.pe Fuente de Internet | <1 % |
| 17 | repositorio.unprg.edu.pe Fuente de Internet | <1 % |
| 18 | 1library.co Fuente de Internet | <1 % |
| 19 | repositorio.uandina.edu.pe Fuente de Internet | <1 % |
| 20 | www.dspace.espol.edu.ec Fuente de Internet | <1 % |

| | | |
|----|---|------|
| 21 | Submitted to Universidad Andina del Cusco Trabajo del estudiante | <1 % |
| 22 | Submitted to Universidad Continental Trabajo del estudiante | <1 % |
| 23 | fr.scribd.com Fuente de Internet | <1 % |
| 24 | docplayer.es Fuente de Internet | <1 % |
| 25 | repositorio.unap.edu.pe Fuente de Internet | <1 % |
| 26 | elperuanolegal.blogspot.com Fuente de Internet | <1 % |
| 27 | cybertesis.uni.edu.pe Fuente de Internet | <1 % |
| 28 | docslide.us Fuente de Internet | <1 % |
| 29 | repositorio.unsaac.edu.pe Fuente de Internet | <1 % |
| 30 | es.scribd.com Fuente de Internet | <1 % |
| 31 | tesis.usat.edu.pe Fuente de Internet | <1 % |
| 32 | Submitted to University of Sheffield Trabajo del estudiante | <1 % |

| | | |
|----|--|------|
| 33 | repositorio.unprg.edu.pe:8080 Fuente de Internet | <1 % |
| 34 | repositorio.upao.edu.pe Fuente de Internet | <1 % |
| 35 | repositorio.unc.edu.pe Fuente de Internet | <1 % |
| 36 | www.cpsingenieria.com Fuente de Internet | <1 % |
| 37 | documents.mx Fuente de Internet | <1 % |
| 38 | alicia.concytec.gob.pe Fuente de Internet | <1 % |
| 39 | dspace.ups.edu.ec Fuente de Internet | <1 % |
| 40 | repositorio.ujcm.edu.pe Fuente de Internet | <1 % |
| 41 | repositorio.unsm.edu.pe Fuente de Internet | <1 % |
| 42 | www.ici.edu.pe Fuente de Internet | <1 % |
| 43 | mwhb.ie Fuente de Internet | <1 % |
| 44 | pt.slideshare.net Fuente de Internet | <1 % |

| | | |
|----|---|------|
| 45 | repositorio.upla.edu.pe Fuente de Internet | <1 % |
| 46 | fr.slideshare.net Fuente de Internet | <1 % |
| 47 | Marti@?nez, M.. "Trace elements of Paleocene Tachira coals, southwestern Venezuela: a geochemical study", Journal of South American Earth Sciences, 200109 Publicación | <1 % |
| 48 | repositorio.unheval.edu.pe Fuente de Internet | <1 % |
| 49 | Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante | <1 % |
| 50 | Submitted to Universidad Senor de Sipan Trabajo del estudiante | <1 % |
| 51 | idoc.pub Fuente de Internet | <1 % |
| 52 | Submitted to Universidad Nacional del Centro del Peru Trabajo del estudiante | <1 % |
| 53 | ribuni.uni.edu.ni Fuente de Internet | <1 % |
| 54 | repositorio.upse.edu.ec Fuente de Internet | <1 % |

repositorio.upt.edu.pe

55

Fuente de Internet

<1 %

56

Submitted to Universidad Católica de Santa
María

Trabajo del estudiante

<1 %

57

creativecommons.org

Fuente de Internet

<1 %

58

repositorio.uprit.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

59

repositorio.uta.edu.ec

Fuente de Internet

<1 %

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 15 words

Excluir bibliografía

Activo