



UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE CUENCA

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

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

**USO DE ESCORIA DE ACERO, EN MEZCLAS CON
MATERIALES GRANULARES TIPO BASE PRODUCIDAS
EN LA PROVINCIA DEL AZUAY.**

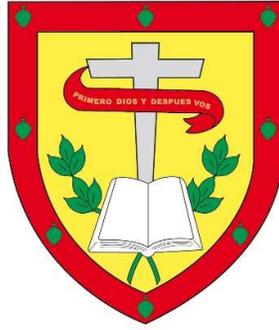
**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

AUTOR: LUIS FELIPE ORMAZA CHIRIBOGA

DIRECTOR: ING. CESAR HUMBERTO MALDONADO

CUENCA – ECUADOR

2023



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

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

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**USO DE ESCORIA DE ACERO, EN MEZCLAS CON
MATERIALES GRANULARES TIPO BASE PRODUCIDAS
EN LA PROVINCIA DEL AZUAY.**

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

AUTOR: LUIS FELIPE ORMAZA CHIRIBOGA

DIRECTOR: ING. CESAR HUMBERTO MALDONADO

CUENCA – ECUADOR

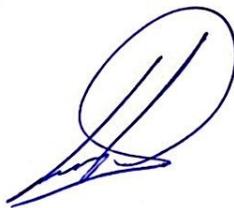
2023

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO

DECLARATORIA DE AUTORIA Y RESPONSABILIDAD

Luis Felipe Ormaza Chiriboga portador de la cédula de ciudadanía N° 0105565477. Declaro ser el autor de la obra: “Uso de escoria de acero, en mezclas con materiales granulares tipo base producidas en la provincia del Azuay”, sobre la cual me hago responsable sobre las opiniones, versiones e ideas expresadas. Declaro que la misma ha sido elaborada respetando los derechos de propiedad intelectual de terceros y eximo a la Universidad Católica de Cuenca sobre cualquier reclamación que pudiera existir al respecto. Declaro finalmente que mi obra ha sido realizada cumpliendo con todos los requisitos legales, éticos y bioéticos de investigación, que la misma no incumple con la normativa nacional e internacional en el área específica de investigación, sobre la que también me responsabilizo y eximo a la Universidad Católica de Cuenca de toda reclamación al respecto.

Cuenca, 12 de mayo de 2023

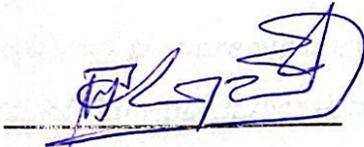


Luis Felipe Ormaza Chiriboga

C.I 0105565477

CERTIFICADO

Yo, Cesar Humberto Maldonado Noboa, certifico que el presente Proyecto de Titulación fue ejecutado por el estudiante Luis Felipe Ormaza Chiriboga bajo mi dirección.



Ing. Cesar Humberto Maldonado Noboa

C.I 0102416559

DEDICATORIA

A mi Dios por darme la sabiduría y perseverancia, siempre confiado en el camino trazado que tiene para mí y por darme paz en los momentos oscuros.

A mi padre Leonardo, quien, con su personalidad, carácter y paciencia, me formó para enfrentarme ante los retos de la vida.

A mi madre Gladys, quien, con su cariño y amor incondicional, ha sido el pilar fundamental de todo mi desarrollo como persona para ver el lado gentil de la vida.

A mis hermanos, quienes siempre me apoyaron en todo momento, mientras me convertía en adulto y por haber depositado su confianza en mí.

A mi hermana Fabiola, quien, con su cariño y carácter, supo añadir un grano de arena a mi desarrollo que siempre llevaré en mí.

A mi enamorada Monserrath, quien ha sido mi apoyo emocional y sentimental, quien me ha acompañado en mi crecimiento profesional y personal. Que ha celebrado cada logro obtenido como si fuera suyo, me ha llenado el corazón de paz y amor.

A mi amigo Esteban, quién me motivo durante mi vida estudiantil y profesional, convirtiéndose en mi hermano de otra madre.

AGRADECIMIENTO

A mi padre Leonardo y mi madre Gladys, que me han inculcado el valor de la responsabilidad, compromiso, perseverancia y puntualidad, que ha sido clave para el desarrollo de mi persona.

A mis hermanos y hermana, que, con sus palabras y constante preocupación, han depositado su confianza en mí, tanto en el ámbito laboral como estudiantil, que nunca dudaron de mis capacidades para cumplir mis objetivos.

A mi enamorada Monserrath, que con su cariño y amor incondicional me ayudo a superar varias etapas de mi vida, por motivarme día tras día a ser una mejor persona sin importar la situación, nunca rendirme y cumplir mis metas y objetivos.

RESUMEN

En la industria de fabricación de acero, presenta un serio problema de residuos, como lo es la escoria negra de alto horno, con el cual, actualmente, existe estudios donde se busca el aprovechamiento de estos recursos dentro de áreas de la ciencia de obras civiles, como lo es la construcción. Es por esto, que se justifica el presente proyecto de investigación, cuyo objetivo es el análisis y la implementación de escoria de acero negra, producto de alto horno dentro del proceso industrial de siderurgia, como reemplazo en la estructura granular fina de una base.

Se plantea como hipótesis, el posible mejoramiento en las características y propiedades físicas y mecánicas en una estructura granular tipo base, para ello, se sigue una serie de determinados ensayos, establecido por normativas, cuyo fin es el de determinar sus propiedades iniciales y compararlas con la base modificada con el residuo siderúrgico.

Los resultados arrojados en esta investigación, presume valores negativos o inferiores con respecto a una base sin modificar en su agregado fino. Esto, refleja un comportamiento poco favorable a las condiciones y requerimientos que se debe cumplir para ser identificada como base granular. Finalmente, se concluye con un análisis comparativo general, donde el cuál se responde la pregunta de hipótesis planteada y el comportamiento de la presencia de la escoria negra de acero de alto horno como parte de la estructura fina de una base granular.

Palabras clave: escoria siderúrgica, base granular, comportamiento, ensayos.

ABSTRACT:

Steel industry has severe waste problems, such as black blast furnace slag. Currently, there are studies where these resources are sought within areas of civil engineering science, such as construction. Therefore, this research project is justified; its objective is the analysis and implementation of black slag—a product of a blast furnace in the industrial steelmaking process—as a substitute in the fine granular structure of a base.

The hypothesis is the possible improvement in the physical and mechanical characteristics and properties of a base-type granular structure. To this end, a series of specific tests, established by regulations, are conducted to determine its initial properties and compare them with the base modified with the steel residue.

The results obtained in this research presume negative or lower values concerning a base without modifying its fine aggregate. This reflects a behavior unfavorable to the conditions and requirements that must be fulfilled to be identified as a granular base. Finally, a general comparative analysis is concluded, answering the hypothesis question and the behavior of the presence of black blast furnace steel slag as part of the fine structure of a granular base.

Keywords: steel slag, granular base, behavior, testing

INDICE

Contenido

1. CAPITULO I: GENERALIDADES	1
1.1. INTRODUCCIÓN:.....	1
1.2. OBJETIVOS:.....	2
1.2.1. General:.....	2
1.2.2. Específicos:	2
1.3. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA:.....	3
1.4. ALCANCE Y TIPO DE INVESTIGACIÓN:.....	3
1.5. HIPÓTESIS:.....	4
2. CAPITULO II: FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	5
2.1. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS:	5
2.1.1. Pavimento:.....	5
2.1.2. Bases:	5
2.1.3. Escoria:	5
2.2. ANTECEDENTES DE ESTUDIOS:.....	5
2.2.1. Estudios Similares:	5
2.3. CARACTERIZACIÓN DE LA ESCORIA DE ACERO:	7
2.3.1. Características Físicas:.....	8
2.3.2. Composición Químicas:.....	8
2.4. Descripción de la Empresa Productora:.....	9
2.4.1. ANDEC	9
2.5. Proceso de Obtención de la Escoria Siderúrgica:.....	11
2.5.1. Reducción:.....	11
2.5.2. Fusión:.....	12
2.5.3. Afino:	12
2.5.4. Solidificación:	12
2.5.5. Conformación Mecánica:	12
2.6. Alto Horno:	13
2.6.1. Productos obtenidos del alto horno:	13
2.7. Tipo de Escorias:	14
2.7.1. Escoria de Alto Horno Eléctrico:	14
2.8. PROPIEDAD DE LA ESCORIA:.....	15
2.9. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS:.....	15

2.9.1.	Especificaciones Técnicas del Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTOP):	15
2.9.2.	Especificaciones Técnicas del Municipio de Cuenca:	21
3.	CAPITULO III: METODOLOGÍA	22
3.1.	DISEÑO DEL PROYECTO:	22
3.1.1.	Fase 1: Antecedentes: Recopilación de Información Relevante:	22
3.1.2.	Fase 2: Obtención de Materiales: Material Granular y Escoria de Acero:	22
3.1.3.	Fase 3: Ensayos en Bases: Modificado y sin Modificar:	23
3.1.4.	Fase 4: Análisis de Resultados: Viabilidad del uso de la Escoria de Acero:	23
3.2.	TIPO DE INVESTIGACIÓN:	25
3.3.	PROCEDENCIA DE MATERIALES GRANULARES:	25
3.3.1.	Minas en la Provincia del Azuay:	25
3.4.	BASES GRANULARES:	27
3.5.	BASES MEJORADAS O ESTABILIZADAS:	27
4.	CAPITULO IV: ENSAYOS EN LABORATORIO	28
4.1.	LABORATORIO DE SUELOS:	28
4.1.1.	UBICACIÓN:	28
4.2.	ENSAYOS EN MATERIALES GRANULARES:	29
4.2.1.	GRANULOMETRÍA:	29
4.2.2.	LÍMITES DE ATTERBERG:	32
4.2.3.	CONTENIDO DE HUMEDAD:	36
4.2.4.	ABRASIÓN:	38
4.2.5.	PROCTOR MODIFICADO:	40
4.2.6.	ENSAYO CBR (CALIFORNIA BEARING RATIO):	45
4.3.	ENSAYOS EN BASES CON ADICIÓN DE ESCORIA DE ACERO:	49
4.3.1.	DETERMINACIÓN DE PORCENTAJE DE ESCORIA A UTILIZAR:	49
4.4.	ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS:	49
4.4.1.	Base Granular:	49
4.4.1.	CONTENIDO DE HUMEDAD:	51
4.4.2.	ABRASIÓN:	52
4.4.3.	LÍMITES DE ATTERBERG:	53
4.4.4.	CLASIFICACIÓN DEL SUELO:	55
4.4.5.	PROCTOR MODIFICADO:	56
4.4.6.	CBR	59
4.4.7.	Base Modificada con Escoria de Acero:	64

4.4.8.	Comparación:	83
4.4.9.	Comparación para 1 m ³ de Pavimento:	90
5.	CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	92
5.1.	CONCLUSIONES:	92
5.2.	RECOMENDACIONES:	93
5.3.	BIBLIOGRAFÍA:	94
5.3.1.	Bibliografía:	94
6.	ANEXOS	97
6.1.	ANEXO A: CARTA DE RECIBIMIENTO DE LA ESCORIA DE ACERO NEGRA	1
6.2.	ANEXO B: EVIDENCIA FOTOGRÁFICA	2
6.3.	ANEXO C: CÁLCULOS Y RESULTADOS DE ENSAYOS EN BASE GRANULAR SIN MODIFICACIÓN.	5
6.4.	ANEXO D: CÁLCULOS Y RESULTADOS DE ENSAYOS EN BASE GRANULAR MODIFICADA.	6
6.5.	ANEXO E: RESULTADOS Y COMPARACIÓN.	7

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Características Físicas de la Escoria Negra de Acero.	8
Tabla 2 Composición Química de Escoria Negra de Acero.....	9
Tabla 3 Productos proveniente del Alto Horno.....	13
Tabla 4 Propiedades de la Escoria Negra de Acero.....	15
Tabla 5 Artículos Guías del Proyecto de Investigación.....	16
Tabla 6 Clase de Bases según su Uso	16
Tabla 7 Clase de Base según el Material Granular.....	17
Tabla 8 Requisitos para Base Clase 1 tipo A y B.....	18
Tabla 9 Requisitos para Base Clase 2.....	18
Tabla 10 Requisitos para Base Clase 3	19
Tabla 11 Requisitos para Base Clase 4.....	20
Tabla 12 Requisitos para Base Granular.....	20
Tabla 13 Ensayos Necesarios para Mantener la Calidad de una Base Periodicamente..	21
Tabla 14 Coordenadas Mina Rookaazul	26
Tabla 15 Coordenadas Mina Áridos del Austro	27
Tabla 16 Coordenadas del Laboratorio de la Universidad Católica de Cuenca.....	28
Tabla 17 Tabla formato para el llenado de los Datos del Ensayo de Granulometría	30
Tabla 18 Equipos para el ensayo de Granulometría	30
Tabla 19 Fórmulas para el ensayo de Granulometría	32
Tabla 20 Equipos para el ensayo de Límites de Atterberg.....	33
Tabla 21 Fórmulas para el Ensayo Límites de Atterberg.....	36
Tabla 22 Equipos para el Ensayo de Contenido de Humedad	37
Tabla 23 Fórmulas para el Ensayo de Contenido de Humedad.....	38
Tabla 24 Equipos para el Ensayo Abrasión	39
Tabla 25 Formula usada para el Ensayo de Abrasión.....	40
Tabla 26 Equipos para el Ensayo de Proctor Modificado.....	41
Tabla 27 Fórmulas para el Ensayo de Proctor Modificado.....	44
Tabla 28 Equipos para el Ensayo de CBR.	45
Tabla 29 Fórmulas usada en el Ensayo CBR.....	48
Tabla 30 Resultado de Granulometría de una Base sin Modificar	50
Tabla 31 Porcentaje que pasa por cada tamiz.....	51
Tabla 32 Resultado del Contenido de Humedad presente en una Base sin Modificar ...	52
Tabla 33 Porcentaje de Abrasión de los Agregados Gruesos de una Base sin Modificar	53

Tabla 34 Resultado de porcentajes de humedad para Límite Líquido.....	53
Tabla 35 Determinación del Límite Plástico.....	54
Tabla 36 Resultado del Índice de Plasticidad.....	55
Tabla 37 Proporción de agregados para el Ensayo de Proctor Modificado	56
Tabla 38 Cantidad de agua calculada para el ensayo de Proctor Modificado.....	57
Tabla 39 Resultado de Pesos Compactados de cada muestra	57
Tabla 40 Resultado final del Porcentaje de Humedad y su Densidad Seca Real.....	58
Tabla 41 Cantidad de Agua calculada para el ensayo CBR.....	59
Tabla 42 Resultado del Porcentaje de Humedad en Base.....	59
Tabla 43 Resultado a 12 Golpes de la Rotura de Cilindro para CBR.....	60
Tabla 44 Resultado a 25 Golpes de la Rotura de Cilindro para CBR.....	61
Tabla 45 Resultado a 56 Golpes de la Rotura de Cilindro para CBR.....	62
Tabla 46 Valores CBR y Densidades Secas Calculadas.....	63
Tabla 47 Granulometría en Base modificada con Escoria de Acero Negra al 15% de reemplazo de Ag. Fino	64
Tabla 48 Granulometría de Base Modificada con Escoria de Acero al 15% para su Clasificación.....	65
Tabla 49 Determinación del Límite Líquido con adición de escoria de acero al 15% de Ag. Finos	66
Tabla 50 Determinación del Límite Plástico con adición de escoria de acero al 15% de Ag. Finos	67
Tabla 51 Determinación del IP - Escoria al 15% de Ag. Finos.....	67
Tabla 52 Determinación del Límite Líquido con adición de Escoria de Acero Negra al 25% de Ag. Finos	68
Tabla 53 Determinación del Límite Plástico. Escoria al 25% de Ag. Finos.....	69
Tabla 54 Determinación del IP - Escoria al 25% de Ag. Finos.....	69
Tabla 55 Proporción de Agregados con adición de Escoria al 5% del Ag. Fino	70
Tabla 56 Cantidad de Agua usada en el ensayo con Escoria al 5% del Ag. Fino	70
Tabla 57 Resultado Final del Porcentaje de Humedad y Densidad Seca Real. Escoria al 5%	71
Tabla 58 Proporción de Agregados con adición de Escoria al 10% del Ag. Fino.....	71
Tabla 59 Cantidad de Agua usada en el ensayo con Escoria al 10% del Ag. Fino	72
Tabla 60 Resultado Final del Porcentaje de Humedad y Densidad Seca Real. Escoria al 10%	72
Tabla 61 Proporción de Agregados con adición de Escoria al 15% del Ag. Fino.....	73
Tabla 62 Cantidad de Agua usada en el ensayo con Escoria al 15% del Ag. Fino	74

Tabla 63 Resultado Final del Porcentaje de Humedad y Densidad Seca Real. Escoria al 15%	74
Tabla 64 Proporción de Agregados con adición de Escoria al 20% del Ag. Fino.....	75
Tabla 65 Cantidad de Agua usada en el ensayo con Escoria al 20% del Ag. Fino	76
Tabla 66 Resultado Final del Porcentaje de Humedad y Densidad Seca Real. Escoria al 20%	76
Tabla 67 Proporción de Agregados con adición de Escoria al 25 % del Ag. Fino.....	77
Tabla 68 Cantidad de Agua usada en el ensayo con Escoria al 20% del Ag. Fino	78
Tabla 69 Resultado Final del Porcentaje de Humedad y Densidad Seca Real. Escoria al 25%	78
Tabla 70 Resultado Final de Valor CBR y Densidad Seca Real. Escoria al 5% de Ag. Finos.....	79
Tabla 71 Resultado Final de Valor CBR y Densidad Seca Real. Escoria al 10% de Ag. Finos.....	80
Tabla 72 Resultado Final de Valor CBR y Densidad Seca Real. Escoria al 15% de Ag. Finos.....	81
Tabla 73 Resultado Final de Valor CBR y Densidad Seca Real. Escoria al 20% de Ag. Finos.....	82
Tabla 74 Resultado Final de Valor CBR y Densidad Seca Real. Escoria al 25% de Ag. Finos.....	82
Tabla 75 Resultados Granulometría para Bases con y sin adición de Escoria de Acero Negra.....	83
Tabla 76 Granulometría Clase 1-B resultados para Franja Granulométrica.	84
Tabla 77 Resultados Finales del Ensayo de Límites de Atterberg	85
Tabla 78 Clasificación del Suelo por el Método AASHTO.....	86
Tabla 79 Clasificación del Suelo por el Método SUCS para Agregados Finos	87
Tabla 80 Resultados de los Ensayos Generales de Proctor Modificado.....	87
Tabla 81 Resultados Generales del Ensayo CBR.....	89
Tabla 82 Ficha técnica de materiales granulares para vías	91
Tabla 83 Dsitribución de Pesos de Escoria en 5% y 10%.....	91

INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Política del Sistema de Gestión Integrado de la Empresa ANDEC S.A ...	10
Ilustración 2 Diagrama de Flujo de la Obtención de Escorias.	14
Ilustración 3 Curva Granulométrica Clase 1 A y B.....	18
Ilustración 4 Curva Granulométrica Clase 2.....	19
Ilustración 5 Curva Granulométrica Clase 3.....	19
Ilustración 6 Curva Granulométrica Clase 4.....	20
Ilustración 7 Diagrama de Flujo de la Metodología Aplicada en el Proyecto de Investigación.....	¡Error! Marcador no definido.
Ilustración 8 Ubicación de la Mina Rookaazul	25
Ilustración 9 Ubicación de la Mina Áridos del Austro	26
Ilustración 10 Ubicación del L del Laboratorio de Suelos de la Universidad Católica de Cuenca.....	28
Ilustración 11 Tamices para agregados gruesos.....	29
Ilustración 12 Curva Granulométrica de Base sin Modificación	50
Ilustración 13 Resultado Franja Granulométrica de Base sin Modificación.....	51
Ilustración 14 Grafica de determinación del Límite Líquido a los 25 golpes.....	54
Ilustración 15 Clasificación de Suelos por el Método AASHTO.....	55
Ilustración 16 Gráfica de Plasticidad por el método USCS	56
Ilustración 17 Gráfica Densidad Seca vs Porcentaje de Humedad.....	58
Ilustración 18 Gráfica de Corrección de Presión de Molde de 12 Golpes.....	61
Ilustración 19 Gráfica de Corrección de Presión de Molde de 25 Golpes.....	62
Ilustración 20 Gráfica de Corrección de Presión de Molde de 56 Golpes.....	63
Ilustración 21 Gráfica de Corrección de Presión Final para CBR.....	63
Ilustración 22 Curva Granulométrica en Base Modificada con Escoria de Acero Negra al 15% de Ag. Fino.....	65
Ilustración 23 Franja Granulométrica de Base Modificada con Escoria de Acero Negra al 15% de Ag. Finos	66
Ilustración 24 Porcentaje de Humedad vs Número de Golpes.....	67
Ilustración 25 Porcentaje de Humedad vs Número de golpes. Escoria al 25% de Ag. Finos	68
Ilustración 26 Gráfica Resultado de Humedad Óptima. Escoria al 5%.....	71
Ilustración 27 Gráfica Resultado de Humedad Óptima. Escoria al 10%.....	73
Ilustración 28 Gráfica Resultado de Humedad Óptima. Escoria al 15%.....	75
Ilustración 29 Gráfica Resultado de Humedad Óptima. Escoria al 20%.....	77
Ilustración 30 Gráfica Resultado de Humedad Óptima. Escoria al 25%.....	79
Ilustración 31 Gráfica Final CBR. Densidad Seca vs CBR. Escoria al 5% de Ag. Finos	80
Ilustración 32 Gráfica Final CBR. Densidad Seca vs CBR. Escoria al 10% de Ag. Finos	80
Ilustración 33 Gráfica Final CBR. Densidad Seca vs CBR. Escoria al 20% de Ag. Finos	81
Ilustración 34 Gráfica Final CBR. Densidad Seca vs CBR. Escoria al 20% de Ag. Finos	82
Ilustración 35 Gráfica Final CBR. Densidad Seca vs CBR. Escoria al 25% de Ag. Finos	83

Ilustración 36 Gráfica Comparativa de Granulometrías Obtenidas.....	84
Ilustración 37 Comparativa de Franjas Granulométricas.....	85
Ilustración 38 Gráfica Comparativa de los Límites de Atterberg.....	86
Ilustración 39 Porcentaje de Humedad Óptima Comparativa	88
Ilustración 40 Densidad Máxima Comparativa.	89
Ilustración 41 Densidad Óptima de CBR Comparativa	90
Ilustración 42 Valores Comparativos CBR de una Base Modificada y Sin Modificar ..	90

1. CAPITULO I: GENERALIDADES

1.1. INTRODUCCIÓN:

La presencia de caminos se ha evidenciado en la historia humana desde la antigüedad, debido a su necesidad de traslado y expansión, que fue el principio de todo el desarrollo económico, cultural y social de las poblaciones.

La primera aparición de la invención de una red de caminos se lo atribuye a la antigua Mesopotamia, hace 5,000 años, donde apareció la rueda, lo que generó la necesidad de construir superficies planas que permitan el rodamiento del primitivo sistema de transporte. Esto desencadenó, en aquella época, que las civilizaciones implementen en sus culturas este tipo de rutas, como el pueblo de Cartagena, quien construyó su sistema de caminos de piedra a lo largo de la costa sur del Mediterráneo. Según el historiador griego Heródoto (484-425 A.C.), menciona que los caminos más antiguos fueron construidos por el rey Keops de Egipto, para el transporte de las inmensas piedras destinadas a la construcción de las pirámides. Al otro lado del mundo, las culturas antiguas de América, entre ellas los mayas, toltecas, aztecas, y los incas, dejaron huellas de avanzadas técnicas en la elaboración de caminos, formados con terraplenes de uno o dos metros de elevación, cubiertos de una superficie de piedra caliza. (Cal y Mayor y Cárdenas, 2007)

Con los primeros pasos en la construcción de pavimentos, se presume que nuestros antepasados utilizaron materiales naturales, como la piedra, por ser abundante y resistente a compresión, la cual es utilizado hoy en día en cualquier construcción de obra civil, sin embargo, la utilización de recursos del medio ambiente, ha provocado el consumo de nuestra corteza terrestre, lo que generará la escasez de éstos mismos. Por este motivo, se crea la necesidad de estudios de uso de materiales alternos o reciclados para mejorar la sostenibilidad y sustentabilidad en las construcciones.

Los materiales granulares que forman parte de la estructura de un pavimento como bases, sub bases, mejoramiento, entre otros, determinan la eficacia en la funcionalidad del pavimento diseñado para soportar las cargas impuestas por el tráfico, sin embargo, el incremento vehicular, el desarrollo de tecnología en equipos y materiales, etc., requieren de un diseño de pavimento que cumpla normativas empleadas en los diferentes métodos de diseño, en ciertas ocasiones, es necesario implementar materiales o mezclas externas al pavimento, para lograr acatar o abarcar las condiciones de funcionamiento de la misma.

Es frecuente encontrar suelos que no son adecuados para servir como fundación a la estructura del pavimento, estos suelen ser blandos y expansivos, o con la presencia de residuos

orgánicos, por lo que provoca la falta de resistencia y genera su inestabilidad volumétrica, causando depresiones o hundimientos en la estructura del mismo. Es necesario entonces idear procesos de mejora como estabilización, adición de materiales por medio de procesos de compactación, física, sin cambiar la estructura química del suelo, química, uso de sustancias artificiales que cambian la constitución del suelo, como: cal, cemento Portland, asfalto, cloruro de sodio, etc. (Auqui y Ramírez, 2019)

Un diseño de la estructura de pavimento parte de las condiciones de sub rasante o suelo de fundación, y de las condiciones de las capas de materiales que serán parte de la estructura. El análisis y determinación de alternativas, metodologías de diseño y el aprovechamiento de materiales se ha evidenciado en distintos estudios que demuestran la intención de lograr la mejora de la calidad de la estructura con diferentes combinaciones de aditivos o mezclas, ya sea con procesos físicos o químicos, que consigan optimizar las características iniciales y propiedades mecánicas de las capas y de la estructura misma, ante el comportamiento de las sollicitaciones de los vehículos livianos y pesados.

Por esta razón, este proyecto investigativo, se enfoca en analizar y determinar los efectos causados a una base granular con la adición de escorias de acero o residuo fino de trabajos en acero. Para esto se realizará los ensayos en laboratorio que permitan analizar el comportamiento en la mezcla del material antes mencionado y, de presentar mejoría, determinar un porcentaje óptimo de aditamento de la misma.

1.2. OBJETIVOS:

1.2.1. General:

Determinar los efectos de adición de escoria de acero en materiales granulares tipo bases y comparar sus propiedades físicas y mecánicas.

1.2.2. Específicos:

Realizar una revisión bibliográfica donde investiguen la adición de escoria de acero en materiales granulares.

Realizar ensayos de granulometría, límites de Atterberg, abrasión, Proctor modificado y CBR, para determinar las propiedades físicas, mecánicas y caracterización de una base.

Determinar un porcentaje óptimo de la adición de escoria de acero en bases granulares.

1.3. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA:

Con el mejoramiento de tecnologías, se presenta también un cambio completo en los tipos de vehículos que, a nivel social y cultural, cumplan con las necesidades con las que fueron creados, incrementando la presencia vehicular en las carreteras o vías del mundo. Lo que significa un aumento de carga sobre la superficie del pavimento, acelerando su deterioro y desgastando la estructura granular de este mismo.

Tomando en cuenta lo anterior, surge la necesidad de implementar cambios en el diseño y metodología en la elaboración de pavimentos, que satisfagan y sean efectivos contra las solicitaciones de carga en la era moderna o en la actualidad. Al mismo tiempo, esto genera mayor uso de los materiales de la corteza terrestre, como la roca, arena, grava, entre otros, lo que representa la creación de minas y lugares de excavación, provocando un mayor daño al medio ambiente. Para ello, se ha evidenciado la conciencia social de hacer uso de materiales reciclados de trabajos de la industria en general.

La ingeniería civil, así como otras carreras, se ha visto influenciada por evolucionar sus técnicas y recurso al momento de las construcciones de obras civiles, por lo que, se ha presentado a nivel nacional e internacional, el buscar nuevos recursos, por medio de la innovación, implementación y aprovechamiento de materiales reciclados a nuevas técnicas que generen alternativas en la construcción.

Dentro de obras de ingeniería vial, por lo regular se encuentran suelos expansivos e inadecuados, por lo que es necesario aplicar técnicas de mejoramiento, que nivelen las características y propiedades óptimas necesarias para su manipulación y construcción. Sin embargo, esto mismo, representa un alto costo de ejecución., por esta razón, este proyecto de investigación, pretende analizar el uso y el efecto de la escoria o residuos de trabajos en acero, como aditivo a estructuras de materiales granulares tipo base con el objetivo de identificar si existe variaciones de mejora en su comportamiento.

Este tipo de estudio, puede servir a futuro para dar paso a investigaciones y aplicaciones de materiales reciclados similares, a obras civiles viales, aprovechando residuos de materiales producto de procesos de fabricación de industrias.

1.4. ALCANCE Y TIPO DE INVESTIGACIÓN:

Considerando lo anterior, el presente proyecto tiene como alcance determinar y analizar la posible mejora en las propiedades físicas y mecánicas de la estructura de pavimento, específicamente en bases granulares al implementar residuos de siderurgia de alto horno,

clasificado de mejor manera como “escoria negra de alto horno eléctrico”, Consecuentemente, generaría conciencia sobre el uso de materiales reciclados dentro del ámbito de la construcción civil.

1.5. HIPÓTESIS:

En este trabajo investigativo, se busca analizar el comportamiento que tiene la una estructura del pavimento, tipo base al ser mezclada con escoria de acero o residuos de trabajos en acero, para determinar el efecto y la posible mejora de sus propiedades mecánicas iniciales, mediante ensayos de laboratorio de suelo, que se realizará en el campus del CITT de la Universidad Católica de Cuenca e identificar un porcentaje óptimo que asegure su uso como material de mejoramiento para bases.

De acuerdo con lo anterior, se plantea las siguientes preguntas generales:

- *¿Qué tipo de comportamiento presenta una base al reforzarla con escoria de acero?*
- *¿Existe mejoría en las propiedades físicas y mecánicas iniciales de una base con la adición de escoria de acero que sirva como material de mejoramiento o estabilizante?*

El desarrollo completo de esta pregunta puede abordarse mediante a la formulación de las siguientes preguntas específicas:

- *¿Qué tipo de comportamiento presenta la base al mezclarse con escoria de acero?*
- *¿Qué efecto causa en las propiedades físicas y mecánicas al añadir residuos de trabajos en acero a una estructura de pavimento tipo base?*
- *¿Existe un porcentaje óptimo para que la escoria de acero incremente las características de compresión?*

2. CAPITULO II: FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS:

2.1.1. Pavimento:

Dentro de la ingeniería, se define como pavimento a la estructura conformada por varias capas de materiales granulares que se coloca encima de una subrasantes, cuyo objetivo es el de permitir la fluidez del tráfico de los distintos vehículos.

2.1.2. Bases:

Esta capa se encuentra entre la sub-base y la carpeta asfáltica, la cual, es una de las capas más importante ya que aporta directamente a la capacidad estructural del pavimento. Está compuesta por material granular. (Fernandez y Velásquez, 2020).

2.1.3. Escoria:

A nivel global, se han realizado estudios donde recaban que la fabricación de acero genera desperdicios industriales que representan de un 15 a un 20% de la producción total del acero, convirtiendo la escoria de acero el subproducto industrial considerable. Éstas, contienen esencialmente hierro, sílice y calcio, y presentan propiedades técnicas adecuadas para su uso como árido reciclado en hormigones, bases y sub-bases en carreteras. Donde países como España, Brasil y Chile han estudiado las propiedades mecánicas, físicas y químicas de las escorias de acería para su uso específicamente en la construcción de bases y sub-bases, logrando las estabilizaciones de estas mismas. (Torres et al., 2017).

2.2. ANTECEDENTES DE ESTUDIOS:

2.2.1. Estudios Similares:

Dentro del proceso de recolección de información, que avalen la presente investigación, se ha abarcado o recopilado tesis, artículos científicos, revistas, entre otros, donde se realizaron estudios similares implementando materiales reciclados derivados del acero, como fibras de acero y escoria siderúrgica. Por lo que se destacó, tanto a nivel internacional como nacional, las siguientes:

Según, (Sigifredo y Carbajal, 2021), en su tesis de grado titulada “Propuesta de mejoramiento de pavimento rígido usando fibras de acero en la Avenida Circunvalación-Distrito veintiséis de octubre - Piura, 2021” de la Universidad César Vallejo de Perú, realiza

estudios referentes al uso de fibras de acero para mejorar las propiedades iniciales de un pavimento rígido. Su objetivo principal fue la elaboración de una propuesta de mejora para el comportamiento mecánico de un pavimento rígido existente dentro de la ciudad de Piura (Perú), en un tramo de 500 m de recorrido de una avenida, donde se analizaron los pavimentos existentes. La metodología usada en esta investigación es de diseño “no experimental-transversal”, es decir, manipula variables dentro de un tiempo determinado, por lo que se usó la técnica de observación experimental, mediante los estudios de las mejoras en concretos reforzados con fibras de acero. Se recolectó información relevante al tránsito e historia de la vía del estudio, se investigó las mejoras de concreto con adición de fibras de acero, para terminar, aplicando la nueva mezcla dentro del diseño de la nueva vía del tramo antes dicho. El diseño fue determinado por el Método AASTHO y el Método ACI. Los resultados que expuso, (Sigifredo y Carbajal, 2021), dentro de este trabajo investigativo, determino que los agrietamientos del pavimento rígido modificado disminuyo un 25%, ya que las fibras logran evitar la propagación de las grietas; también se demostró que es posible disminuir los espesores del pavimento, sin embargo, representa un costo mayor de fabricación en comparación a un concreto simple.

Según, (Tirado, 2019), en su tesis de grado titulada “Análisis comparativo del uso de escoria de siderurgia para la estabilización de suelo” de la Universidad Técnica de Ambato, Ecuador, estudia un suelo limo arenoso, tomado en Pilisurco (Tungurahua), arcilloso, tomado de Murialdo (Pastaza) y la escoria de acero, tomada del cantón de Ambato. Su objetivo principal fue el análisis de las propiedades y comportamiento mecánico de la estabilización de suelos con la adición de escoria de siderurgia, con la finalidad de mejorar sus condiciones para su uso. Para ello, se realizó ensayos como: Límites de Atterberg, para identificar los tipos de suelo, Proctor modificado tipo D, que identifica la capacidad de soporte del suelo, CBR, que determina la densidad seca máxima. Se implementó dosificaciones de 8%, 10% y 35% de escoria de acero a los ensayos antes mencionado, donde también se estudió el esponjamiento que genera cada suelo con la presencia de agua. Los resultados que expone, (Tirado, 2019), en su estudio, determina que mientras va aumentando el porcentaje de escoria de acero, incrementa la capacidad de soporte para las muestras, mejorando el valor de CBR del suelo hasta en un 396,6% en el suelo limo arenoso y en un 355,2% para un suelo arcilloso. Con respecto al esponjamiento, se infirió la disminución del mismo, siendo más notable con la presencia de un 35% de escoria de acero. Por lo tanto, se demostró que la escoria de siderurgia es un material óptimo e idóneo para la estabilización de suelos.

Según, (Acosta y Villarraga, 2018), en su tesis de grado titulada “Análisis del comportamiento de las propiedades mecánicas de un suelo cohesivo y posible uso como material de terraplén; cuando se modifica su composición granulométrica usando escoria de alto horno” de la Universidad Distrital Francisco José Caldas de Bogotá, Colombia; plantea el uso de escoria de alto horno como agente modificador de un suelo, para su aprovechamiento y disminución en el impacto ambiental de su producción, explotación desmedida de canteras y el aumento de desechos industriales. El estudio tuvo como objetivo, el analizar las propiedades mecánicas de un suelo cuando se modifica la composición granulométrica de los áridos finos, adicionando escoria de alto horno y determinar su dosificación óptima para su uso como material de terraplén según las especificaciones técnicas del INVIAS (Instituto Nacional de Vías, Colombia). Se realizó ensayos, al igual que estudios anteriores, como: Granulometría, Límites de Atterberg y CBR, cuyos resultados se compararon con los requisitos establecidos por la norma antes mencionada. Por lo que los investigadores, (Acosta y Villarraga, 2018), infiere que el uso de escoria de alto horno mejora las condiciones iniciales de comportamiento de un suelo, aumentando su resistencia y disminuyendo su plasticidad, por lo que es posible usarlo como terraplén, sin embargo, está condicionado por la proporción o dosificación de la escoria pues se debe estudiar en cada intervalo de si cumple con los requerimientos para ser determinado como material de mejoramiento. Se destaca que la composición granulométrica modificada con escoria de acero, debe conservar una proporción de más de 30% para funcionar como terraplén.

2.3. CARACTERIZACIÓN DE LA ESCORIA DE ACERO:

La escoria de alto horno o escoria negra de acero, de la cual se utilizará en este trabajo de investigación, esta catalogado como un subproducto dentro de la producción de hierro y acero, donde sus características físicas y químicas, se encuentran netamente influenciadas por la forma de obtención de la misma. Es necesario conocer y comprender estas propiedades, debido a su analisis y predicción del comportamiento ante la aplicación en cualquier ciencia. Se encuentran formadas por la fundición de hierro, coque y piedra caliza. (Vélez, 2013)

La escoria negra presenta forma regular y cavernosa, y su composición química depende de los residuos de acero usada en la fabricación del acero dentro del proceso productivo y las fases operacionales, además de su tratado al momento de la extracción del horno. (Astorgano, 2020)

2.3.1. Características Físicas:

Según, (Astorgano, 2020), menciona que la escoria negra de acero se presenta en diferentes tonalidades como gris oscuro y gris claro, de igual forma, se evidencia pequeños granos de color marrones y blancos, producto de la mezcla de minerales dentro del horno, como la cal (tonalidad blanca). Dentro de su proyecto, Astorgano, determina las siguientes características principales de la escoria de alto horno:

Tabla 1 Características Físicas de la Escoria Negra de Acero.

PROPIEDAD	AG. GRUESO	AG. FINO
Tamaño (mm)	4.76 – 25.0	0 – 4.76
Densidad Aparente (Mg/m ³)	3.35	3.70
Absorción (%)	3.29	2.84
Porosidad (%)	10.5	-
Abrasión (%)	= 20	-

Fuente: Astorgano (2020)

2.3.2. Composición Químicas:

Dentro de la producción del hierro y el acero en una fundición, existe varias fases donde la composición química varía debido a la acción del oxígeno, fósforo y dióxido de carbono, principalmente. Por lo que, después del proceso de fundición en el alto horno, se procede a sustraer del fondo de éste, la escoria de acero, sin embargo, se debe considerar la técnica de sustracción y enfriamiento, ya que afectará la composición química, debido a la reacción de gases químicos y naturales como el oxígeno, si se deja secar a la interperie. Por esta razón, (Parra y Sánchez, 2010), en su estudio, destaca los siguientes porcentajes generales de elementos químicos presentes en la escoria negra:

Tabla 2 Composición Química de Escoria Negra de Acero.

ELEMENTO	RANGO (%)
Ca O	27 – 37
Si O ₂	11 – 25
Fe O	3 – 25
Fe ₂ O ₃	0.1 – 1.5
Mg O	7 – 9
Cr ₂ O ₃	0.6 – 4
Ti O ₂	10 - 14

Fuente: Parra y Sánchez (2010).

2.4. Descripción de la Empresa Productora:

2.4.1. ANDEC

Historia:

Acerías Nacionales del Ecuador (ANDEC S.A.), es una de las empresas más importantes de fabricación y producción de acero; es una empresa responsable con calidad reconocida por sus clientes a nivel nacional. (ANDEC, s.f.) De manera personal, el servicio al cliente o a personas en busca de información, busca ofrecer una total cooperación en guiar al usuario hacia lo que busca dentro de lo que ofrece la empresa.

La empresa fue constituida en el año de 1964, brindando al país un aumento del desarrollo de la industria Siderúrgica Nacional, sin embargo, en Julio de 1984, la Dirección de Industrias del Ejército (DINE) adquiere la mayor parte de acciones con el objetivo de modernizar la planta en su totalidad, optimizando los recursos, aumentando la producción y destacar su lugar en el mercado. Con el paso de los años, la empresa ha completado los diversos procesos de certificación del Sistema Integrado de Gestión (SGI), incorporando a su sistema de calidad las normas ISO 14001 y OHSAS 18001. (ANDEC, s.f.)

Ilustración 1 Política del Sistema de Gestión Integrado de la Empresa ANDEC S.A



Fuente: ANDEC

Una de las ventajas que tiene la empresa, es su compromiso con el medio ambiente, por lo que capta y procesa la chatarra, en su fase de reciclaje, la cual, es utilizada como materia prima para la producción de productos y subproductos de acero, reduciendo la extracción de recursos naturales, contribuyendo con el desarrollo global sostenible, disminución de emisiones contaminantes que afectan a la atmosfera ayudando a conservar la flora y fauna. El reciclaje de acería, representa un ahorro en el mineral de hierro por cada tonelada de acero para la construcción que genera. (ANDEC, s.f.)

Cuenta con una planta especializada para la captura y procesamiento de humos, con una campana extractora que disminuye, en un valor aproximado de 2000 toneladas de polvo de acería, la contaminación anualmente. (ANDEC, s.f.)

La empresa cuenta con una planta de captura, clasificación y procesamiento de chatarra, previa a su fundición, donde cuenta con hornos eléctricos de fusión revestidos con ladrillos refractarios recubiertos de dolomita para evitar la erosión de las paredes del horno; de igual forma, posee hornos cuchara para el afino de la colada continua. El horno posee una capacidad de 40 toneladas de acero líquido, trabajando con menos de 23 toneladas debido a que el volumen de carga del horno cuchara es mejor al de fusión. La temperatura para la producción de escoria en el horno eléctrico de 1500 a 1600 °C con una potencia energética de 18.2 mega watts. (Vélez, 2013)

Servicio a la Comunidad:

Para esta parte del proyecto, es necesario contactar con autoridades pertinentes al tema, dentro de las plantas de producción de acero que se encuentra en las ciudades más relevantes a

su funcionalidad en el Ecuador como: Quito, Guayaquil y Loja, por lo que, en este caso, se habla de la planta de producción de Acero de Guayaquil, ubicada en sector conocido como “Guasmo Sur”. (ANDEC, s.f.)

Generalmente, al momento de contactar con empresas, siempre existe trabas en el asunto que hacen del trámite un proceso tedioso y largo, sin embargo, puedo destacar la calidad de servicio al cliente por parte de ANDEC S.A., además de la acogida y amabilidad que tienen con estudiantes y futuros profesionales del Ecuador, que buscan alguna relación o información sobre el proceso de obtención, producción, compra, entre otros., de acero y sus derivados.

En este caso, el medio de comunicación e intercambio de relaciones con la empresa, fue por medio de llamadas y correos electrónicos, donde, después de un gentil asesoramiento por parte de los trabajadores, me supieron guiar correctamente para lograr la conexión con las personas pertinentes para la obtención de la escoria de acero. (Véase Anexo A)

2.5. Proceso de Obtención de la Escoria Siderúrgica:

Hoy en día, el acero es considerado uno de los materiales de construcción más solicitados para la elaboración de obras civiles. Esto, gracias a que genera un aumento en la resistencia mecánica y mantiene una notable ductilidad, ayudando a soportar cargas y proporcionando flexibilidad respectivamente. (Suárez, 2018)

Según, (Vélez, 2013) y (ANDEC, s.f.), los datos de producción del año 2012, fue de un valor aproximado de 92.405 ton de acero, generando apenas un 10% del valor total, como escoria de siderurgia, es decir, 9.240 ton, lo que significa una producción diaria de 25.31 ton, durante un año de trabajo.

El proceso de la escoria siderúrgica presenta las siguientes fases:

2.5.1. Reducción:

Parte de la obtención del mineral de hierro para convertirlo en arrabio, el cual es el hierro líquido fundido. Se lo realiza en el “alto horno”, volviendo los óxidos integrantes del mineral en hierro metálico. (Suárez, 2018)

2.5.2. Fusión:

Dentro de este proceso, se derivan varias fases como la oxidación (proceso en el cual se aplica oxígeno en el horno, lo que provoca una serie de reacciones químicas junto a los minerales y elementos presentes en la materia prima que se encuentra dentro del alto horno, cuyo proceso termina con la ebullición del líquido, lo que indica una correcta oxidación del carbono; por las diferentes densidades del acero líquido y la escoria negra, se separan para continuar con el proceso de afino), Desfosforación (proceso donde elimina la presencia de fósforo al enfriarse el acero) (Astorgano, 2020)

2.5.3. Afino:

Al culminar el proceso anterior mencionado, viene la desoxidación (tiene como objetivo el desoxidar el líquido resultante mediante la adición de ferroaleaciones de silicio y manganeso), control de nitrógeno, hidrógeno y oxígeno (se corrige la composición del acero según las especificaciones solicitadas), descarbonación (elimina el carbono bajando la presión del monóxido de carbono mientras dure la etapa de oxidación, su resultante son aceros inoxidables) (Parra y Sánchez, 2010)

2.5.4. Solidificación:

Consiguientemente, tenemos un acero en estado líquido con una composición química correcta para el proceso, por lo que, es solidificado en las máquinas de colada continua, formando lingotes, tochos y palanquillas. (Suárez, 2018)

2.5.5. Conformación Mecánica:

Es su etapa final, donde el acero entra en procesos de laminación, ya sea en frío o caliente, donde se puede utilizar tratamientos térmicos y superficiales, dependiendo de la demanda de las propiedades específicas solicitada, como la dureza, resistencia, maleabilidad, ductilidad, entre otros. (Suárez, 2018)

2.6. Alto Horno:

Es un reactor vertical que utiliza el carbono, con el objetivo de reducir los óxidos de hierro presentes en la naturaleza, produciendo arrabio, que es la materia prima principal para la fabricación del acero. (Macías y Torres, 2018)

Los elementos minerales como: Magnetita, Siderita y Hermatita, son llevados a la parte alta del horno, donde, su mezcla, se funde a 1650 °C de temperatura. Seguidamente, se lo hace reaccionar con la combinación de oxígeno y carbono, que, a su vez, produce monóxido de carbono reaccionando con el óxido de hierro, reduciéndolo en el acto. El metal fundido se acumula en la parte baja del horno, que, dentro de 4 a 5 horas, se vacía en barriles que pueden contener hasta 160 toneladas de hierro. (Gonzalez, 2011)

2.6.1. Productos obtenidos del alto horno:

Según, (Macías y Torres, 2018), dentro del horno eléctrico, derivan los siguientes subproductos:

Tabla 3 Productos proveniente del Alto Horno

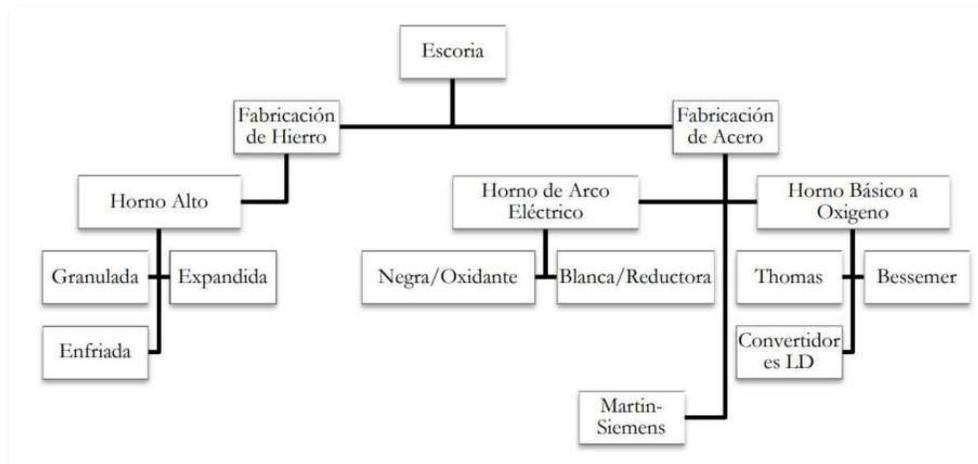
Humos y Gases Residuales	Producto de la combustión del coque y de los gases de reducción química. Son dióxido de carbono, óxidos de azufre y monóxido de carbono.
Escoria	Subproducto de la fabricación de acero, considerado como un residuo metalúrgico, que puede ser utilizada dentro de la construcción.
Arrabio	Constituido por hierro y carbono, se encuentra en forma líquida a 1800 °C.
Lodos	Resultado de la depuración de los gases que pasa los filtros de la planta de tratamiento de humos. Compuestos por hierro y óxidos de hierro, entre otros.
Polvillo	Residuos sólidos complejos, se generan durante la fase de fusión y afinado del acero. Conformado en su mayoría de óxidos metálicos simples o complejos

Fuente: Macías y Torres (2018)

2.7. Tipo de Escorias:

El tesista (Suárez, 2018), clasifica a las escorias relacionando los procesos de fabricación del acero, como las que se encuentran en el alto horno (dentro de la etapa de reducción de minerales de hierro para la producción de arrabio, es usado comúnmente como material cementante en la fabricación del concreto), horno arco eléctrico (la chatarra ferrosa es utilizada como materia prima dentro de este horno, cuyo aditivo es el oxígeno y antracita, provocando una oxidación de hierro que es el responsable de dar el color negro a la escoria) y horno cuchara (realiza el proceso de desulfuración del acero, donde el color de la escoria es clara, por lo que se le cataloga como escoria blanca) Presentando diferentes características dependiendo de su posterior uso.

Ilustración 2 Diagrama de Flujo de la Obtención de Escorias.



Fuente: Suárez (2018).

2.7.1. Escoria de Alto Horno Eléctrico:

Escoria Blanca:

El autor (Astorgano, 2020), identifica a la escoria blanca como un producto final de la etapa de afino, el cual, sus propiedades y características dependen de la clase de enfriamiento que se le aplique. Este tipo de escoria, presenta mayor sensibilidad en los cambios de su

composición y estructura que la escoria negra, por lo que todo factor que provoque algún cambio significativo.

Escoria negra:

Según, (Torres et al., 2017), clasifica a la escoria negra como un subproducto del proceso de fabricación del acero, el cual ha sido punto de estudio dentro del ámbito vial para su aplicación en este, sirviendo como reemplazo o aditivo, ya que cumple como para ser utilizado como agregado granular y como material estabilizador en bases y subbases en un pavimento, sin embargo, si su composición presenta valores altos en óxido de magnesio, puede afectar a los materiales que componen la estructura de las demás capas de material granular.

2.8. PROPIEDAD DE LA ESCORIA:

Según, (Siclane, 2018), la escoria presenta características angulares, además de su forma cúbica y su rugosidad, por lo que considera las siguientes propiedades:

Tabla 4 Propiedades de la Escoria Negra de Acero.

Peso Unitario	1600 – 1920 kg/m ³
Gravedad Específica	3.2 – 3.6
Porcentaje de Absorción	3%

Fuente: Siclane (2018).

2.9. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS:

2.9.1. Especificaciones Técnicas del Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTO):

Para efectos de este trabajo investigativo, se utilizará como guía y herramienta las especificaciones técnicas del MTO, el cual, en la sección 404-1, habla específicamente sobre bases granulares. Por lo que, se recabará los siguientes artículos.

Tabla 5 Artículos Guías del Proyecto de Investigación

Artículo 404-1.01	Descripción
Artículo 404-1.02	Materiales
Artículo 404-1.04	Ensayos y Tolerancias

Según, (MTO, 2002), describe a una base como una estructura de capas que abarca agregados que son triturados de forma total o parcial, el cual es estabilizada por compuestos granulares o suelos finos determinados. Las bases se pueden clasificar según su uso y por su material granular como estructura, las cuales son las siguientes:

Clase de Base según su Uso:

Tabla 6 Clase de Bases según su Uso

CLASE DE BASE	TIPO DE USO	Nº CARRILES	TPDA
I	Aeropuertos y carreteras con alta demanda	8 a 12	Mayor a 50 mil
II	Carreteras de ancho de 3.65m y franja central de 2m a 4m	2 a 6	De 8 mil a 50 mil
III	Carreteras de poca demanda en ciudades	2 a 4	De mil a 8 mil
IV	Caminos vecinales	2	Menor a mil

Fuente: MTO (2002)

Clases de Base según el material granular:

Tabla 7 Clase de Base según el Material Granular

<u>CLASE 1:</u>	Estas bases, se encuentran compuestas por material granular grueso y fino triturados en su totalidad y graduados uniformemente dentro de los límites granulométricos A y B, que, según (MTOP, 2002), indica en la Tabla 404-1.1.
<u>CLASE 2:</u>	Compuesto por fragmentos de roca o grava trituradas. El agregado grueso será triturado al menos el 50% y que cumpla con los requisitos, establecidos por (MTOP, 2002) en el numeral 814-4, y los límites granulométricos de la Tabla 404-1.3.
<u>CLASE 3:</u>	Al igual que la clase 2, su compuesto granular grueso tendrá un porcentaje de trituración de hasta un 25% y deberá cumplir con los requisitos del, (MTOP, 2002), numeral 814-4, y los límites granulométricos de la Tabla 404-1.4.
<u>CLASE 4:</u>	Compuesto por agregados producto de la trituración o cribado de piedras fragmentadas naturalmente o de gravas, establecido por, (MTOP, 2002), en la subsección 814-3 y dentro de los límites granulométricos presentes en la Tabla 404-1.4.

Fuente: MTOP (2002)

Franjas Granulométricas:

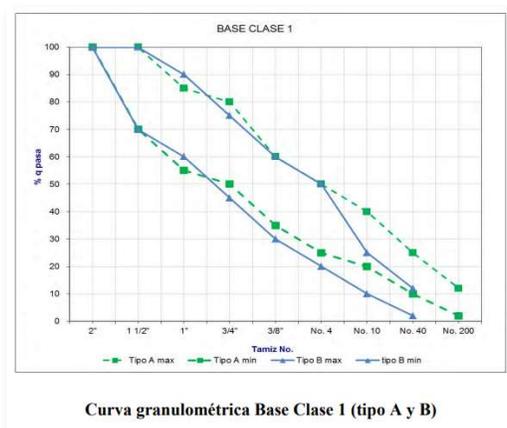
Según, (MTOP, 2002) y (NEVI-12, 2013), distribuye cuatro tipo de clases de bases dependiendo de su análisis granulométrico o distribución del porcentaje de agregados granulares que pasan a través de determinados tamices, el cual, deben cumplir los requisitos impuestos en las siguientes Tablas e ilustraciones:

Tabla 8 Requisitos para Base Clase 1 tipo A y B

TAMIZ	Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada	
	Tipo A	Tipo B
2" (50.8 mm.)	100	--
1 1/2" (38.1mm.)	70 - 100	100
1" (25.4 mm.)	55 - 85	70 - 100
3/4"(19.0 mm.)	50 - 80	60 - 90
3/8"(9.5 mm.)	35 - 60	45 - 75
Nº 4 (4.76 mm.)	25 - 50	30 - 60
Nº 10 (2.00 mm.)	20 - 40	20 - 50
Nº 40 (0.425 mm.)	10 - 25	10 - 25
Nº 200 (0.075 mm.)	2 - 12	2 - 12

Fuente: MTOP-Tabla 404-1.1.

Ilustración 3 Curva Granulométrica Clase 1 A y B



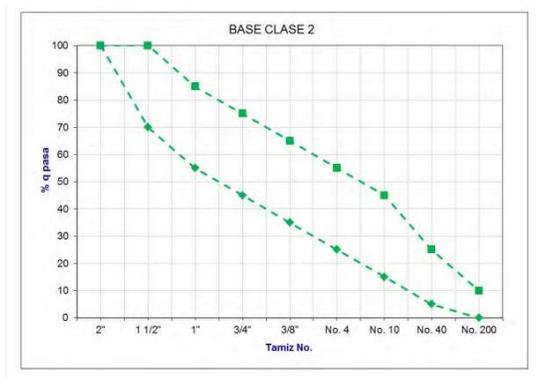
Fuente: MTOP – NEVI (2012)

Tabla 9 Requisitos para Base Clase 2

TAMIZ	Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada
1" (25.4 mm.)	100
3/4"(19.0 mm.)	70 - 100
3/8"(9.5 mm.)	50 - 80
Nº 4 (4.76 mm.)	35 - 65
Nº 10 (2.00 mm.)	25 - 50
Nº 40 (0.425 mm.)	15 - 30
Nº 200 (0.075 mm.)	3 - 15

Fuente: MTOP-Tabla 404-1.2.

Ilustración 4 Curva Granulométrica Clase 2



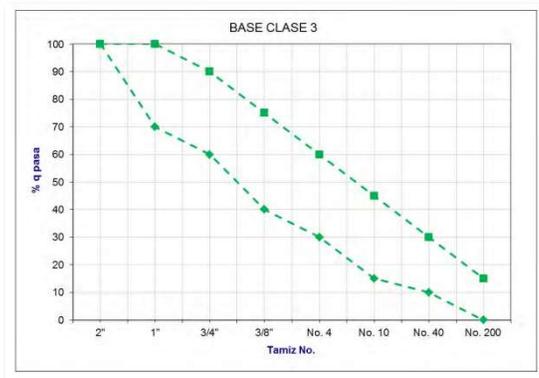
Fuente: MTOP – NEVI (2012)

Tabla 10 Requisitos para Base Clase 3

TAMIZ	Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada
3/4"(19.0 mm.)	100
Nº 4 (4.76 mm.)	45 - 80
Nº 10 (2.00 mm.)	30 - 60
Nº 40 (0.425 mm.)	20 - 35
Nº 200 (0.075 mm.)	3 - 15

Fuente: MTOP-Tabla 404-1.3.

Ilustración 5 Curva Granulométrica Clase 3



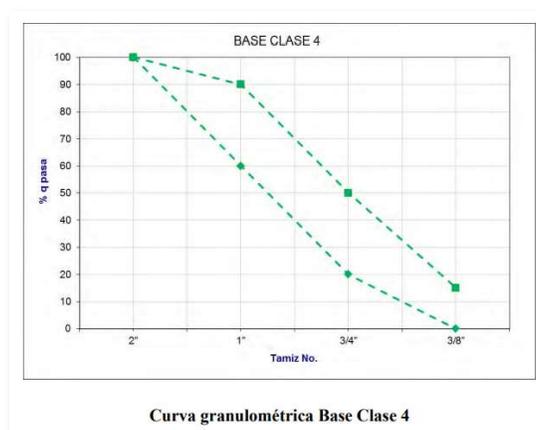
Fuente: MTOP – NEVI (2012)

Tabla 11 Requisitos para Base Clase 4

TAMIZ	Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada
2" (50.8 mm.)	100
1" (25.4 mm.)	60 - 90
Nº 4 (4.76 mm.)	20 - 50
Nº 200 (0.075 mm.)	0 - 15

Fuente: MTOP-Tabla 404-1.4.

Ilustración 6 Curva Granulométrica Clase 4



Fuente: MTOP – NEVI (2012)

De igual forma, (MTOP, 2002), indica que, los agregados deberán estar limpios, en estado sólido, resistentes y sin contenido de arcilla o material extraño. Además, debe cumplir los siguientes lineamientos:

Tabla 12 Requisitos para Base Granular

LÍMITE LÍQUIDO:	Menor a 25
INDICE DE PLASTICIDAD:	Menor a 6
PORCENTAJE DE ABRASIÓN:	Menor al 40%
VALOR CBR:	Igual o mayor al 80%

Fuente: MTOP (2002)

La normativa, (NEVI-12, 2013), indica ensayos necesarios de realizar, para verificar la calidad de los materiales granulares, para que cumplan con los requisitos, antes mencionado, para ser considerado como base granular. Son los siguientes:

Tabla 13 Ensayos Necesarios para Mantener la Calidad de una Base Periódicamente

<u>ENSAYOS</u>	<u>NORMA DE ENSAYO</u>	<u>FRECUENCIA</u>
Granulometría	NTE INEN 696 y 697	
Límite Líquido	ASTM D 4318	
Índice de Plasticidad	ASTM D 4318	1 VEZ POR JORNADA
Equivalente de Arena	ASTM D 1998	
Densidad Seca Máxima	ASTM D 698 y 1557	

Fuente: MTOP – NEVI (2012)

2.9.2. Especificaciones Técnicas del Municipio de Cuenca:

Dentro de las especificaciones técnicas del Municipio de la ciudad de Cuenca, se encuentra dividido en varios anexos y artículos o secciones, sin embargo, por efectos del proyecto, se hará referencia al ANEXO 3, artículo 15.1 (CUENCA) que habla generalmente sobre las bases granulares y sus condiciones que deben cumplir, al igual que las especificaciones del MTOP.

3. CAPITULO III: METODOLOGÍA

3.1. DISEÑO DEL PROYECTO:

Las actividades que se desarrollarán en el presente proyecto, busca determinar el posible uso de la escoria como material granular modificador de las propiedades físicas y mecánicas de la estructura de un pavimento, donde la veracidad de la hipótesis será comprobada mediante el análisis de ensayos que serán ejecutados a un número determinado de muestras de una base.

Para la ejecución de este trabajo investigativo, se hará uso de áridos provenientes de minas aprobadas y utilizadas en la construcción de proyectos dentro de la provincia del Azuay, garantizando el uso del material local. Se analizará, en un principio, las características y propiedades iniciales mediante ensayos, donde determinarán la línea base de comparación, al momento de adicionar escoria de acero a la estructura de la base granular.

El presente proyecto se encuentra dividido en cuatro fases:

3.1.1. Fase 1: Antecedentes: Recopilación de Información Relevante:

Se realizará una recopilación de información de estudios igual o similares a este trabajo investigativo, para tener antecedentes y poder afirmar los procedimientos a tomar. También se tomará en cuenta los procesos constructivos de las normas técnicas vigentes como lo son las “Especificaciones Técnicas del Ministerio de Transporte y Obras Públicas” y las “Especificaciones Técnicas del Municipio de Cuenca”, donde indicarán los procesos y requerimientos que servirán para determinar la correcta funcionalidad de bases granulares.

3.1.2. Fase 2: Obtención de Materiales: Material Granular y Escoria de Acero:

Este proyecto se encuentra delimitado a hacer uso de materiales de la provincia del Azuay, Ecuador, por lo que, los lugares evidentes para la obtención de los diferentes áridos que componen la base, se lo hará en la fábrica cementera “Atenas”.

Por otro lado, es difícil encontrar un proveedor de residuos de acero, ya que las grandes acerías, tienen convenio con otras empresas o fábricas para su ocupación. Por esta razón, se intentará conseguir de empresas que fabrican acero, perfilerías, talleres mecánicos, mecánicas

industriales y acerías, en donde podamos encontrar la escoria como residuo de los procesos propios de la industria.

3.1.3. Fase 3: Ensayos en Bases: Modificado y sin Modificar:

La investigación se centra en la posible mejora de las características iniciales de materiales granulares tipo base, haciendo uso de la escoria negra de acero, como material extra en su estructura. Para ello, se propone, dentro de la granulometría de una base, adicionar diferentes porcentajes (5%, 10%, 15%, 20% y 25%) de escoria en cada muestra a ensayar. Para ello, todas las muestras se someterán al mismo proceso de ensayos de laboratorio para determinar el comportamiento inicial y final de las muestras sin modificar y combinadas de una base granular.

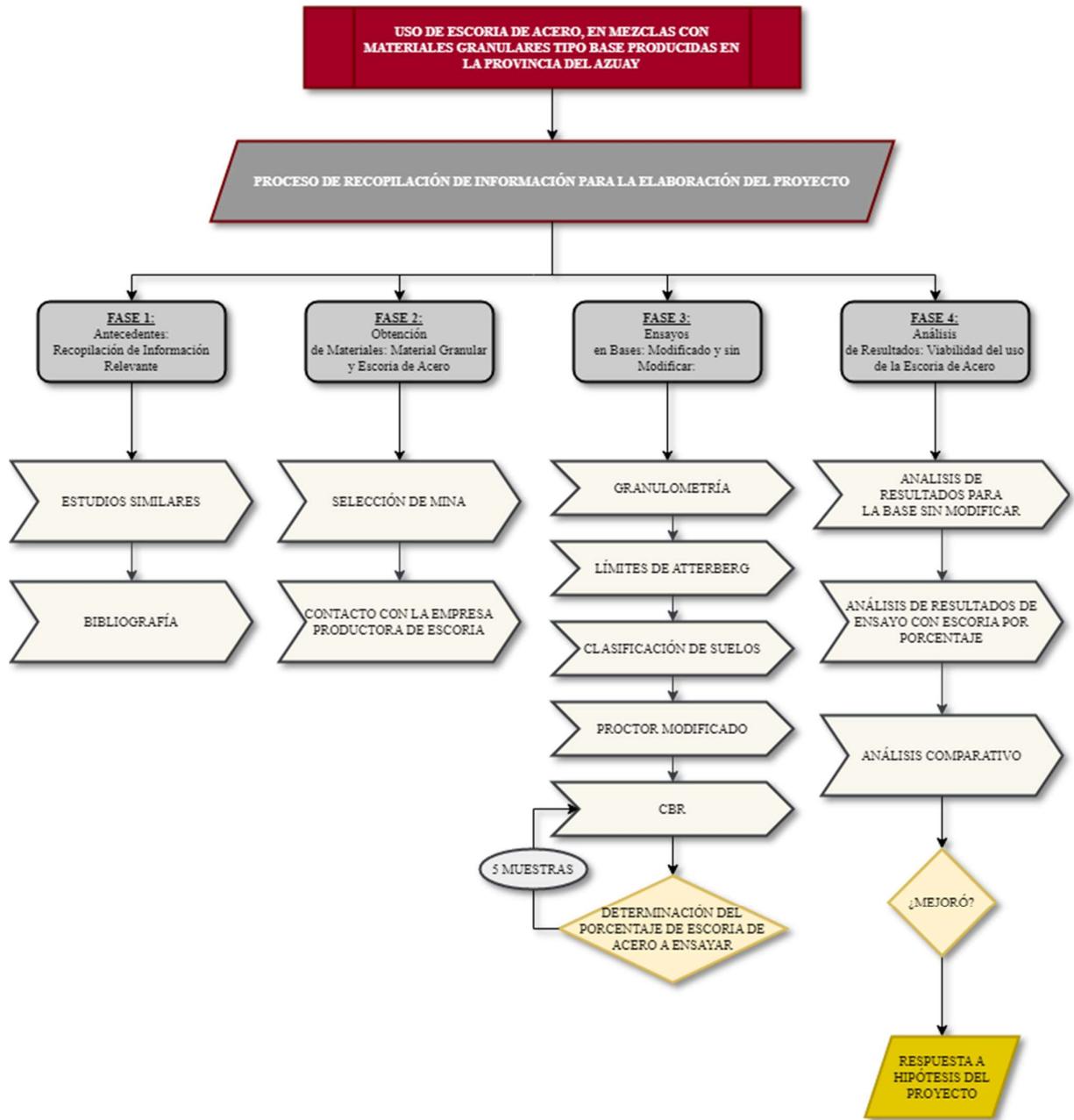
Se hará uso de los equipos y materiales de laboratorio de la Universidad Católica de Cuenca, para lograr la caracterización de la materia granular a analizar.

3.1.4. Fase 4: Análisis de Resultados: Viabilidad del uso de la Escoria de Acero:

En esta fase, se realizarán ensayos individuales de las muestras sin adición y con adición de la escoria de acero, con el objetivo de realizar un análisis de resultados aisladamente, en comparación con la muestra inicial.

Posteriormente, se realizará una evaluación comparativa, donde se analizará las posibles variaciones en las características y propiedades de cada muestra con la adición de escoria de fundición, con el objetivo de determinar si existe mejora en la estructura granular de una base, al añadir residuos finos de acero.

Ilustración 7 Diagrama de Flujo de la Metodología Aplicada en el Proyecto de Investigación



3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN:

Según (Hernandez et al., 2017), la metodología que cumple con el tipo de desarrollo y estudio del presente proyecto, será el enfoque cuantitativo, ya que, principalmente se refiere a las mediciones numéricas, observación y recolección de datos, responder preguntas de hipótesis mediante la medición, calculo y análisis. Está dirigido para investigaciones que pueden ser medibles o cuantificables. Referente al tipo de investigación, se lo identifica como experimental, ya que se manipula variables que se encuentran dentro de un proceso para poder observar, identificar y que permita el análisis del resultado obtenido.

3.3. PROCEDENCIA DE MATERIALES GRANULARES:

3.3.1. Minas en la Provincia del Azuay:

MINA “ROOKAAZUL”

Este sitio, clasificado como mina “Rookaazul”, es una de las minas más conocida dentro de la provincia del Azuay, donde se puede encontrar diversos tipos de áridos como roca triturada, roca ciclópea, arena, grava, gravilla, base, sub-base, entre otros.

Ubicación:

Ilustración 8 Ubicación de la Mina Rookaazul



Fuente: Google Maps

Se encuentra ubicado dentro de la Provincia del Azuay, siguiendo la Panamericana Norte, sector “El Descanso”, se puede observar una planta minera a un costado de la carretera.

Tabla 14 Coordenadas Mina Rookaazul

X	Y
735.820,506	9.686.246,660

Material Granular Tipo Base:

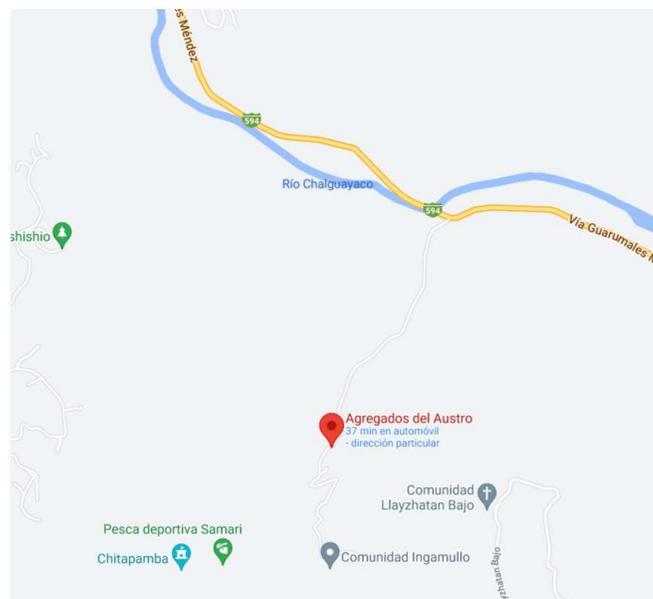
Para la ejecución de este proyecto, se hizo uso de los materiales granulares procedentes de esta mina. Presenta un amplio espacio para la extracción, transporte y depósito de base, de igual forma para los demás áridos, por lo que, al dirigirse al sitio a adquirirla, como inspección visual primaria, es notable que el árido se encuentra 100% triturado de diferentes tamaños, por lo que se puede inferir también que, es cribado, el cuál es benéfico para la elaboración de este proyecto.

MINA “ARIDOS DEL AUSTRO”

En esta mina, al igual que la anterior, mantiene un inventario de áridos dispuesto para la venta dirigida a profesionales, entidades públicas y privadas.

Ubicación:

Ilustración 9 Ubicación de la Mina Áridos del Austro



Fuente: Google Maps

Se encuentra ubicado dentro de la Provincia del Azuay, vía Guarumales Méndez, a 20 minutos del redondel de Paute, pasando el puente metálico tipo armadura, la primera entrada a la derecha.

Tabla 15 Coordenadas Mina Áridos del Austro

X	Y
738.809,100	9.683.530,157

3.4. BASES GRANULARES:

Por lo general, el suelo en su estado natural, en la mayoría de los casos, no reúne las condiciones necesarias que logre brindar un buen servicio al momento de la aplicación de cargas estáticas o móviles, es por esta razón, que es necesario la aplicación de capas de base o una base y subbase, que estará entre la superficie natural y la superficie de trabajo. Su función principal es la de minimizar los esfuerzos uniformes aplicado a la capa de rodadura y distribuirlos a la capa continua inferior, aumentando la rigidez en la estructura del pavimento y mantener un correcto drenaje de agua. (Mendoza y Guadarrama, 2008)

3.5. BASES MEJORADAS O ESTABILIZADAS:

Por lo general, el suelo en su estado natural, se lo encuentra con propiedades físicas y mecánicas inadecuadas para el soporte de sollicitaciones requeridas en una obra civil, por lo que se suele provocar problemas como asentamientos, infiltraciones y deslizamientos. Por esta razón, (Tirado, 2019), describe distintos tipos de estabilizaciones como la mecánica (se refiere a la compactación del suelo, cuyo objetivo es el densificar el suelo por medio de maquinaria), física (consiste en la mezcla de diferentes suelos con el fin de que se cumpla las características requeridas al momento de su compactación. También, se emplea geotextiles, consolidación y vibro flotación), química (se usa aditivos químicos, como última opción, donde adicionan cal, cemento, cenizas, material bituminoso, entre otros.)

4. CAPITULO IV: ENSAYOS EN LABORATORIO

4.1. LABORATORIO DE SUELOS:

El análisis y estudio de suelos, ha demostrado, día tras día, la importancia de conocer las propiedades físicas, químicas y mecánicas, presentes en una estructura granular como lo es un suelo natural o mejorado que servirá para proyectos de obra civil. Por esta razón, los laboratorios de suelos se encargan de realizar ensayos determinados para cada tipo de material, que deberán cumplir lo establecido por las normativas de cada país. En este caso, el laboratorio que servirá como sede de ensayos para efectos del proyecto de investigación, pertenece a la Universidad Católica de Cuenca, el cual, contiene los equipos y materiales necesarios para el estudio de suelos.

4.1.1. UBICACIÓN:

Ilustración 10 Ubicación del Laboratorio de Suelos de la Universidad Católica de Cuenca



Fuente: Google Maps

Tabla 16 Coordenadas del Laboratorio de la Universidad Católica de Cuenca

X	Y
726.153,346	9.684.182,241

4.2. ENSAYOS EN MATERIALES GRANULARES:

4.2.1. GRANULOMETRÍA:

Dentro del ámbito de la mecánica de suelos, se conoce que la estructura del suelo, se encuentra conformado por partículas de diversos tamaños, que va entre pequeñas (limos y arcillas) y más gruesas (arenas o gravas). Esta distribución, se la conoce como textura o granulometría, el cual es una propiedad física del material granular. Este análisis es fundamental, debido a que es posible conocer el comportamiento que tiene referente al aire y agua presente de manera porosa dentro de la estructura del suelo. (Enriquez y Cremona, 2019)

Es decir, este ensayo determina la distribución de las partículas del suelo de acuerdo a su tamaño, obteniendo los datos representativos en el formato de la Tabla 17. Se realiza el tamizado del material agregado por mallas de distintos diámetros, como se observa en la Ilustración 11, distribuyendo los agregados finos y gruesos de una cantidad determinada de material o muestra.

Ilustración 11 Tamices para agregados gruesos.



Fuente: Google

Tabla 17 Tabla formato para el llenado de los Datos del Ensayo de Granulometría

#Tamiz	Diametro (mm)	Cant. Ret	Cant. Ret. Acum	%Retenido	%Pasa
1 1/2	38.1				
1	25.4				
3/4	19.1				
1/2	12.7				
3/8	9.52				
#4	4.76				
PASANTE					
#4	-				
#10	2				
#40	0.42				
#200	0.074				
FONDO	-				

Seguidamente, al analizar los datos obtenidos del paso de los agregados gruesos y finos por los diferentes tamices, genera lo que se llama “curva granulométrica”, la cual, es una gráfica representativa del diámetro de los tamices o mallas versus el valor en porcentaje acumulado que pasa cada una de éstas. (Flores, 2019) Esta, se lo analiza con las curvas granulométricas relacionadas con bases granulares, y así poder caracterizar que tipo de base es con la que se trabajará en este proyecto (**Véase apartado 2.9.1**).

Equipos:

Tabla 18 Equipos para el ensayo de Granulometría

TAMIZADORA (Agregados

Gruesos)

Sirve para determinar y clasificar el tamaño de las partículas granulares gruesas que se vierte

en la misma.



TAMIZADORA (Agregados Finos)

Sirve para determinar y clasificar el tamaño de las partículas granulares finas que se vierte en la misma.



BANDEJAS (Diferentes Tamaños)

Recipientes metálicos de diferentes tamaños, que servirá para contener material granular para su pesado, transporte y combinado de partículas.



Procedimiento:

- 1 – Toda la muestra de suelo, se vierte en una bandeja grande.
- 2 – Se mezcla y se cuartea para obtener una muestra más uniforme.
- 3 – Se procede a tomar entre 10 kg a 15 kg de muestra de dos esquinas opuestas del material cuarteado.
- 4 – Se pesa la bandeja con la muestra y se toma el dato.
- 5 – Se lleva a la tamizadora en donde se verterá la totalidad de la muestra y se dejará encendido por 5 minutos.
- 6 – Finalizado el tiempo, se procede a tomar la muestra retenida en cada tamiz, y se toma los datos de peso.
- 7 – Para realizar la granulometría de agregados finos, se toma de 500 gr a 1000 gr de la cantidad total que se encuentre en el fondo de los tamices de agregados gruesos.
- 8 – Se empieza a lavar la muestra para reducir la presencia de finos y residuos orgánicos naturales. Esto se repite hasta obtener una claridad significativa al inicio del lavado.
- 9 – Se retira con cuidado el excedente de agua de la muestra lavada, y se procede a meter en el horno eléctrico por 24 horas.

10 – Al día siguiente, al sacar del horno la muestra y enfriada, se pesa y se determina el peso seco y la cantidad de absorción que tiene la muestra.

11 – Con la muestra seca, se procede a verter en los tamices decrecientes para agregados finos (ver Tabla 17 para las medidas de los diámetros de los tamices) y se enciende el agitador de tamices mecánicos por 5 minutos.

12 – De igual forma, se procede a tomar los pesos retenidos en cada tamiz correspondiente.

13 – Se anota los datos necesarios y se empieza a realizar los cálculos respectivos del ensayo como:

Cálculo – Fórmulas:

Tabla 19 Fórmulas para el ensayo de Granulometría

Porcentaje Retenido:

Es el valor en porcentaje de la cantidad de muestra que se retiene en cada tamiz.

$$\% \text{ Retenido} = \frac{\text{Cant. Ret. Acum} * 100}{\text{Cant. Total Muestra}}$$

Porcentaje que Pasa:

Es el valor en porcentaje de la cantidad de muestra que pasa por cada tamiz.

$$\% \text{ Pasa} = 100\% - \% \text{ Retenido}$$

4.2.2. LÍMITES DE ATTERBERG:

Son conocidos como límites de consistencia, donde los suelos finos presentes en el medio ambiente, pueden encontrarse en diferentes estados (sólido, semisólido, líquido y plástico), dependiendo de la cantidad de agua que éstos contengan. Este ensayo clasifica el tipo de suelo analizado y sus propiedades, mediante el índice plástico.. (Figuroa y Manani, 2019)

El límite líquido (LL) se define como el contenido de humedad necesario para que dos mitades de una mezcla tipo pasta de suelo de 10 mm de espesor, converjan en una longitud de mínimo 12 mm, en el fondo de la cuchara de Casagrande (sirve para determinar el límite de liquidez de un terreno), golpeando un determinado número de golpes entre 40 a 5, teniendo en cuenta la velocidad de 2 golpes por segundo, haciendo girar la manivela. El resultado del valor en porcentaje del LL se encontrará mediante una gráfica de numero de golpes (coordenadas

algorítmicas) vs porcentaje de humedad en cada golpe ensayado, correspondiente a 25 golpes. Por otro lado, el límite plástico (LP), se lo determina moldeando un cilindro de suelo con un diámetro de 3 mm, realizando una mezcla de agua y suelo, amasándola entre los dedos y una superficie plana y lisa. Se toma muestras y se sigue el procedimiento regular del ensayo para determinar el contenido de humedad, el valor promedio de este será representará el LP. (Romero, 2018)

El valor resultante de este ensayo, será el Índice de Plasticidad (IP), que sirve para determinar las propiedades plásticas que tiene un suelo presente en el agregado fino, por lo que se correlaciona con otras propiedades ingenieriles, como la comprensibilidad, permeabilidad, expansión y extracción, resistencia al corte y compactibilidad. (Góngora et al., 2017).

Equipos:

Tabla 20 Equipos para el ensayo de Límites de Atterberg

CUCHARA DE CASA GRANDE:

Máquina para poder determinar el límite líquido de una muestra de tierra.



ESPATULA:

Sirve para mover, raspar y recoger un determinado material.



RECIPIENTE DE CAUCHO:

Recipiente de caucho que servirá como mortero para combinar el material granular con agua.



BANDEJA:

Recipiente para determinados materiales.

**ACANALADOR:**

Instrumento que sirve para el corte y división del material que se encuentra dentro de la cuchara de Casagrande.

**VIDRIÓ:**

Servirá como superficie lisa para moldear trozos alargados de una muestra húmeda.

**HORNO ELÉCTRICO:**

Instrumento de laboratorio que mantiene el material a una temperatura de 110 °C.



Procedimiento:**Límite Líquido:**

- 1 – Seguidamente del ensayo de granulometría para agregados finos, se toma una cantidad significativa que pase por el tamiz #40 y el #200. Separando en el fondo, la muestra que se ocupará para este ensayo.
- 2 – Se empieza a revolver y agitar manualmente hasta conseguir una muestra de aproximadamente entre 300 gr a 500 gr.

3 – A continuación, se vierte la mitad de la muestra en un mortero de plástico, donde se empezará añadir gotas de agua necesarias para iniciar el ensayo.

4 – Iniciamos con la colocación de 15 gotas de agua a la muestra en el mortero, y se mezcla, seguidamente se coloca una porción de la pasta resultante en la cuchara de Casagrande, distribuyéndola de manera uniforme y nivelada a la base con un espesor mínimo de 10 mm, evitando que se formen burbujas de aire.

5 – Se realiza un corte con el acanalador de forma vertical, hasta que se note la separación de la muestra.

6 – Se empieza a girar la manivela de la cuchara de casa grande, tomando en cuenta el número de golpes que se producirá hasta que las muestras se unan y haya una unión de mínimo 10 mm entre estas.

7 – La primera muestra que se tomará, será la que se cierre en un intervalo entre 36 a 40 golpes de la cuchara de Casagrande, sin embargo, si se sobrepasa, se deberá añadir entre 10 a 12 gotas más (a criterio) dependiendo de la consistencia de la pasta para que logre cerrarse a los golpes requeridos.

8 – Al llegar a cerrarse la muestra a los golpes requeridos, se procese a dividir la mezcla de forma horizontal en 3 partes, y se recogerá con la espátula la división del medio de la muestra y se pondrá en un recipiente pequeño para tomar su peso y posteriormente, se pondrá en el horno durante 24 horas.

9 – De igual forma, se repetirá los procedimientos del 4 al 8, con tal de lograr tomar 3 muestras extras, que se cierren dentro del intervalo de 40 a 5 golpes, tomando en cuenta, que dos de esas muestras, deben cerrarse por debajo de 25 golpes.

10 – Para calcular el valor del límite líquido (LL), se realizará una gráfica entre los números de golpes y su porcentaje de humedad respectiva de cada muestra tomada, y se interpolará el valor a los 25 golpes, dándonos como resultado el valor en porcentaje del Límite Líquido.

Límite Plástico:

11 – Seguidamente, se separa y se pesa, cuatro recipientes extras, que servirán para la toma de muestra para el ensayo del límite plástico.

12 – De la pasta sobrante del ensayo de límite líquido, se toma un trozo pequeño de muestra húmeda, ya que este se encontrará homogénea y plástica.

13 – Con las manos, se tiene que moldear entre las puntas de los dedos y una placa de vidrio o papel cebolla, rollos de aproximadamente 3 mm de diámetro, realizando movimientos hacia adelante y hacia atrás.

14 – Al momento que se logre el diámetro requerido (caso contrario, añade 5 gotas de agua hasta conseguirlo) y se observe que estos rollos alargados no tienen presencia de fisuras, se deberá recoger pequeñas porciones (a criterio), y se pondrán en los recipientes antes separados.

15 – Se tomarán los pesos y se meterán al horno eléctrico durante 24 horas para al día siguiente tomar los porcentajes de humedad.

Cálculo – Fórmulas:

Tabla 21 Fórmulas para el Ensayo Límites de Atterberg

Porcentaje de Humedad:

Teniendo la muestra humedad natural (Wt+Th); la muestra seca (Wt+Ts) y el peso del tarro (Wt)

$$\%H = \frac{(Wt + Th) - (Wt + Ts)}{(Wt + Ts) - Wt}$$

Se usará la siguiente fórmula para el cálculo del porcentaje del contenido de humedad de cada muestra:

Porcentaje Promedio de Humedad:

Teniendo “n” número de muestras, se procederá a sumarlas todas y a dividir para el número total de muestras (n)

$$\%H_{prom} = \frac{\sum n1 + n2 + n3 + n4 + \dots}{n}$$

4.2.3. CONTENIDO DE HUMEDAD:

Generalmente, el suelo natural in situ, suele no reunir propiedades necesarias y suficientes para su uso en obras civiles, por lo que es necesario realizar análisis y ensayos para lograr su correcta estabilidad. La importancia de la determinación del contenido de humedad en suelos, es la proyección del comportamiento como su cambio de volumen, estabilidad mecánica, cohesión, etc. (Romero, 2018)

Es la relación entre la cantidad en masa de agua presente entre los poros del suelo y la cantidad de masa de las partículas sólidas del material. (Acosta y Villarraga, 2018)

Equipos:

Tabla 22 Equipos para el Ensayo de Contenido de Humedad

BANDEJA:

Se usa para la contención de material a ensayar.



RECIPIENTES PEQUEÑOS:

Se usa para la toma de muestras en poca cantidad de un determinado material.



BALANZA DE PRECISIÓN:

Sirve para la toma de medidas de peso de la muestras que se analizará.



HORNO ELECTRÍCO:

Instrumento de laboratorio que mantiene el material a una temperatura de 110 °C.



Procedimiento:

- 1 – Se seleccionarán de 3 a 4 tarros pequeños que servirán de para contener la muestra, la cual, la tomaremos del contenido del fondo del proceso de granulometría de agregado grueso. Se pesará cada uno de los recipientes y se anotará aparte.
- 2 – Se llenará un poco más de la mitad con material tamizado antes mencionado y se procederá a pesar. Estos datos, representarán la muestra de suelo con humedad natural.
- 3 – Se llevará al horno eléctrico y se dejará secar por 24 horas.
- 4 – Al día siguiente, se saca el material del horno y se lo pesará. Lo siguiente, será pesar cada una de las muestras y se anotará aparte para sus próximos cálculos.

Cálculo – Fórmulas:

Tabla 23 Fórmulas para el Ensayo de Contenido de Humedad

PORCENTAJE DE HUMEDAD:

Teniendo la muestra humedad natural (W_t+T_h); la muestra seca (W_t+T_s) y el peso del tarro (W_t)

Se usará la siguiente fórmula para el cálculo del porcentaje del contenido de humedad de cada muestra:

$$\%H = \frac{(W_t + T_h) - (W_t + T_s)}{(W_t + T_s) - W_t}$$

PORCENTAJE PROMEDIO DE HUMEDAD:

Teniendo “n” número de muestras, se procederá a sumarlas todas y a dividir para el número total de muestras (n)

$$\%H_{prom} = \frac{\sum n_1 + n_2 + n_3 + n_4 + \dots}{n}$$

4.2.4. ABRASIÓN:

Hace referencia al desgaste de material granular de diámetro menor de 37.5 mm, cuyo ensayo tiene como finalidad el determinar la resistencia a la degradación haciendo uso de la

máquina de los ángeles en un laboratorio de suelos. Se reducirá la masa debido al impacto recibido por un determinado número de esferas de acero halladas dentro del tambor giratorio de metal. Es calculado por la diferencia entre la masa del material sin modificación y la masa retenida del material culminado el proceso. (Cruz y Yauri, 2020)

El resultado de este ensayo, da a entender el comportamiento bajo los efectos de fatiga y corrosión en el material granular, por lo que se puede perfeccionar la resistencia y la durabilidad de los compuestos gruesos de una estructura granular. (Saabedra et al., 2017)

Equipos:

Tabla 24 Equipos para el Ensayo Abrasión

BANDEJAS (Diferentes Tamaños):

Recipientes metálicos de diferentes tamaños, que servirá para contener material granular para su pesado, transporte y combinado de partículas.



TAMICES PARA AGREGADOS GRUESOS

Se usará los tamices número 3/4", #4 y el "fondo".



BALANZA

Servirá para la medición de pesos respectivos del material granular.



MÁQUINA DE LOS ÁNGELES:

Máquina con tambor rotatorio que contiene esferas de acero para provocar desgaste a materiales granulares.



Procedimiento:

- 1 – Se procede a tamizar el material, de tal manera que se obtenga 1250 gr de material granular de los tamices para agregados gruesos número 1 ½”, 1”, 3/4” y 3/8”, sumando en total una cantidad de 5000 gr.
- 2 – Se vierte todo el material pesado dentro del tambor de la máquina de los ángeles, y se inicia el proceso de 1000 giros.
- 3 – Al culminar, se retira todo el material dentro del tambor hacia una bandeja y se procede a pesar y a realizar su cálculo para la determinación del porcentaje de abrasión.

Cálculo – Fórmulas:

Tabla 25 Formula usada para el Ensayo de Abrasión.

<u>PORCENTAJE DE ABRASIÓN</u>	
Determina el porcentaje de desgaste de un material.	$\% Ab = \frac{Cant. Inicial - Cant. Final}{Cant. Inicial} * 100$

4.2.5. PROCTOR MODIFICADO:

Dentro de la ciencia de estudios de suelos, el ensayo de Proctor, determina la calidad de compactación que tiene un terreno, con este antecedente, en 1933, el ingeniero “Ralph R. Proctor”, logra determinar la densidad máxima que se puede alcanzar para suelos, dependiendo de las condiciones de humedad y energía aplicada. Su ensayo, consiste en realizar un proceso de compactado a una cantidad representativa de una muestra de suelo, dentro de un cilindro específico, modificando la humedad con el objetivo de determinar una gráfica de humedad vs

densidad seca máxima, la que es determinada por la energía de compactación de un pistón. Existen dos tipos de ensayos normalizados, Proctor Estándar y Proctor Modificado; su diferencia radica en la energía empleada para su realización, variando el número de golpes del pisón y su técnica y el número de capas. (Calsina, 2017)

Determina la correlación entre la densidad seca y la humedad óptima de compactación, cuyos resultados son de suma importancia, por lo que controla la calidad del compactado en una obra civil y poder corregirlo. (López, 2020)

Equipos:

Tabla 26 Equipos para el Ensayo de Proctor Modificado.

BANDEJAS GRANDES

Se usará para la mezcla del material granular.



RECIPIENTES PEQUEÑOS

Se usará para tomar muestras del material húmedo.



TAMICES PARA AGREGADOS GRUESOS

Se usará los tamices número 3/4", #4 y el "fondo".



BALANZA

Servirá para la medición de pesos respectivos del material granular.



ESPÁTULA

Servirá para remover la muestra de agregado fino mientras se seca en la cocineta.



PISÓN PARA COMPACTAR

Servirá para la compactación del material dentro del cilindro.



CILINDRO PARA PROCTOR MODIFICADO

Servirá como recipiente para el ensayo.



Procedimiento:

1 – Realizando el ensayo de granulometría previamente, se debe calcular la proporción total de agregados gruesos y finos que se encuentra en la mezcla de material, tomando como muestra total de agregado grueso, la sumatoria de la cantidad retenida en los tamices 3/4", 1/2", 3/8" y #4; y para la muestra total del agregado fino, será la cantidad depositada en el "fondo", es decir, todo lo que pasa el tamiz #4.

2 – Seguidamente, se debe calcular el peso seco del material fino, por lo que se deberá usar el tamiz #4 y un "fondo", donde se recolectará una cantidad pequeña de tierra en un tarro que, aparentemente se encuentra húmeda en su estado natural y se procede a pesar.

3 – Se lleva el material a secar en una cocineta a fuego alto por aproximadamente 25 minutos, y con una espátula se remueve cada cierto tiempo para asegurar un mejor secado.

4 – Al momento que ya no se aprecie vapor saliendo del material, se procede a retirar el material de la cocineta y se deja enfriar para poder pesar y sacar la humedad que presenta el material.

5 – Con el porcentaje de humedad obtenido, se procede a calcular el peso seco de la proporción de agregados finos, con la siguiente fórmula:

$$\text{Peso Seco} = \frac{\text{Peso de la Proporción Fina}}{1 + \frac{\text{Porcentaje de Humedad Cálculada}}{100}}$$

6 – A continuación, se debe calcular la cantidad de agua que se usará para las muestras determinadas necesarias, aumentando un 3% cada muestra. Se procede con la siguiente fórmula:

$$\text{Cant. Agua} = \frac{(\text{Porcentaje de Humedad actual} + 3\%) * (\text{Peso Seco Fino})}{100} \text{ cc}$$

7 – Entrando a la parte práctica del ensayo, se debe regar una buena cantidad de material granular en una bandeja grande, con el objetivo de realizar una mezcla homogénea.

8 – Para este paso, se necesitará tamices de agregados gruesos número 3/4”, #4 y el “fondo”.

9 – Se selecciona dos esquinas de la muestra cuarteada, seguidamente se lo hace tamizar, siguiendo las siguientes indicaciones:

Se deberá conseguir 5 muestras cada una de 5500 gr, combinando o mezclando la proporción calculada de material grueso y fino.

El material que se retenga en el tamiz 3/4”, será regresado a la bandeja.

El material retenido en el tamiz #4, será nuestra proporción de agregados gruesos.

El material que pasa del tamiz #4, es decir, el “fondo”, será nuestra proporción de agregados finos.

10 – Se debe conseguir el molde cilindro correspondiente al ensayo, se lo engrasa y se toma sus medidas para calcular su volumen y se lo pesa. Además de conseguir el pistón que sirve para la compactar.

11 – En una bandeja grande, se mezcla las proporciones gruesas y finas del agregado, y se añade a la cantidad respectiva de agua para la muestra procediendo a mezclar nuevamente.

12 – Dentro del cilindro, se procede de la siguiente manera:

Se llena por medio de 5 capas de material combinado. Entre cada capa, se deberá realizar 56 golpes con el pistón, compactándolo en cada uno.

Finalizando la última capa, se retira el anillo superior y se enraza correctamente para que quede a nivel del cilindro inferior y se lo pesa.

Se desaloja el material del cilindro y se limpia.

13 – Se vuelve a repetir el paso anterior, aumentando la cantidad de agua, según la Tabla que se haya calculado con respecto al porcentaje de humedad.

14 – Según el peso final de la muestra compactada y el porcentaje de humedad de cada muestra, se procede a realizar una gráfica de Peso compactado vs porcentaje de humedad, la cual, servirá para determinar la humedad óptima de compactación del material.

Cálculo - Fórmulas:

Tabla 27 Fórmulas para el Ensayo de Proctor Modificado.

Proporción de Agregado Grueso:

Se calculará el porcentaje de presencia del agregado grueso.

$$\%Grueso = \frac{(\sum Tamices 3/4" al \#4) * (100)}{Cantidad Total Material}$$

Proporción de Agregado Fino:

Se calculará el porcentaje de presencia del agregado fino.

$$\%Grueso = \frac{(Cant. Pasante tamiz \#4) * 100}{Cantidad Total Material}$$

Porcentaje de Humedad:

Para la obtención del porcentaje de humedad en el material.

$$\% H = \frac{Peso Humedo - Peso Seco}{Peso Seco - Peso Recipiente}$$

Peso Seco de Ag. Finos:

Sirve para determinar el peso seco del agregado fino.

$$W_s = \frac{Peso Humedo Fino}{1 + \frac{\%H}{100}}$$

Cantidad de Agua:

Servirá para determinar la proporción de agua para cada muestra del ensayo.

El resultado será en la unidad de centímetros cúbicos.

$$W_w = \frac{\%H * W_s}{100} \text{ cc}$$

Cálculo de la Densidad del material:

Servirá para determinar la densidad del material después del proceso de compactación.

$$\delta = \frac{\text{Peso Compactado}}{\text{Volumen Cilindro}}$$

4.2.6. ENSAYO CBR (CALIFORNIA BEARING RATIO):

Es aquel ensayo que sirve para determinar el índice de resistencia de los suelos. Mide la resistencia al esfuerzo cortante, donde los resultados son evaluados en función de cada requerimiento establecido por normas para cada una de las capas de la estructura del pavimento. (Acosta y Villarraga, 2018)

Se emplea, normalmente, para evaluar la resistencia de materiales granulares como la base, subbase y sub rasante antes solicitaciones de efecto cortante, por esta razón, (Acosta y Villarraga, 2018), define que, el resultado final de este ensayo, denota si su comportamiento ante cargas será adecuado o no, y, además, su uso o su rechazo como elemento estructural en obras civiles.

Equipos:

Tabla 28 Equipos para el Ensayo de CBR.

TAMICES PARA AGREGADOS

GRUESOS:

Se utilizará los tamices 3/4", #4 y el Fondo. Para obtener el material que se requiere.



BANDEJAS DE DIFERENTES

TAMAÑOS:

Servirá para la deposición de material granular que posteriormente será mezclado y usado en el ensayo.



RECIPIENTES PEQUEÑOS

Se usará para tomar muestras del material húmedo.



BALANZA

Servirá para la medición de pesos respectivos del material granular.



PISTÓN PARA COMPACTAR

Servirá para la compactación del material dentro del cilindro.



CILINDRO CBR:

Servirá para la deposición del material y la compactación del mismo, siguiendo los lineamientos para CBR.



Procedimiento:

1 – Al igual que el ensayo de proctor modificado, usaremos la misma cantidad y proporción de materiales granulares previamente calculados. Se separa tres muestras de 5500 gr, que serán usados para este ensayo.

2 – Se toma una muestra pequeña de agregado húmedo fino para pesarlo. Enseguida, se pone en una cocineta a fuego alto para proceder con su secado y así, poder calcular el porcentaje de humedad inicial que tiene el material granular.

3 – Tomando las cantidades en porcentaje de agua que fue utilizado en el ensayo anterior en cada muestra, se realiza una sumatoria y se saca un valor promedio.

4 – Se procede a calcular la cantidad de agua que será utilizado en las tres muestras de este ensayo. Siguiendo las siguientes indicaciones:

El peso seco (W_s) que se usará, será el mismo valor que del ensayo anterior.

Al mismo tiempo, se realiza una modificación a la fórmula para el cálculo de la cantidad de agua, aumentando el porcentaje promedio (%Corregido) que se obtuvo del paso 3.

De igual forma, se usará el valor calculado del porcentaje de humedad óptima (%H óptima) del ensayo proctor modificado.

$$W_w = \frac{(\%H_{optima} - \%H + \%Corregido) * W_s}{100}$$

5 – En una bandeja grande, se mezcla las proporciones gruesas y finas del agregado, y se añade a la cantidad respectiva de agua para la muestra procediendo a mezclar nuevamente, la cual, será mantenida para las 3 muestras correspondientes.

6 – Se debe conseguir el molde cilindro correspondiente al ensayo, se lo engrasa y se toma sus medidas para calcular su volumen y se lo pesa. Además de conseguir el pistón que sirve para la compactar.

7 – Dentro del cilindro, se procede de la siguiente manera:

Se pone una pesa de forma cilíndrica dentro del recipiente para el ensayo.

Se llena por medio de 5 capas de material combinado.

Cada muestra o cilindro, será compactado por un pisón con 12, 25 y 56 golpes respectivamente. Finalizando la última capa, se retira el anillo superior y se enraza correctamente para que quede a nivel del cilindro inferior.

Inmediatamente, se desarma la base del cilindro, y se retira la pesa que se encuentra en el interior del cilindro.

Se da la vuelta a la base del cilindro que contiene el material compactado y se lo vuelve armar.

Se procede a pesar.

Se coloca otro conjunto de pesas encima de cada molde y se procede a sumergir los moldes bajo agua por 4 días mínimo, teniendo en cuenta que se debería de medir su porcentaje de expansión cada 24 horas en cada molde mediante la utilización del trípode y el extensómetro.

Hecho esto se procede a la perforación de los suelos dentro de los moldes, mediante la maquina automática de ensayos de CBR. Estos datos se van anotando en una Tabla establecida, para cada uno de los moldes; el de 56, 25 y 12 golpes por capa. Al final estos resultados dan una gráfica de presiones vs las deformaciones para cada molde.

Con estas graficas se procede a realizar las correcciones respectivas si es necesario.
 Por último, se grafica los valores obtenidos, con su respectiva densidad seca, para lograr obtener el CBR del suelo estudiado.

Cálculo:

Tabla 29 Fórmulas usada en el Ensayo CBR

Porcentaje de Humedad:

Para la obtención del porcentaje de humedad en el material.

$$\% H = \frac{\text{Peso Humedo} - \text{Peso Seco}}{\text{Peso Seco} - \text{Peso Recipiente}}$$

Peso Seco de Ag. Finos:

Sirve para determinar el peso seco del agregado fino.

$$W_s = \frac{\text{Peso Humedo Fino}}{1 + \frac{\%H}{100}}$$

Cantidad de Agua:

Servirá para determinar la proporción de agua para cada muestra del ensayo.

El resultado será en la unidad de centímetros cúbicos.

$$W_w = \frac{(\%H_{opt} - \%H + \%Correg) * W_s}{100}$$

Carga Real (lb):

Determina, a partir de la lectura de carga tomada de la maquina automática de CBR, el valor real en libras de la fuerza aplicada.

$$\text{Lect. Real} = (5.7069 * \text{Lec. Inicial}) + 20.29$$

Densidad Calculada (gr/cm3):

Determina la relación entre la masa y el volumen de un material.

$$\delta = \frac{\text{Peso}}{\text{Volúmen}}$$

Densidad Seca Calculada (gr/cm3):

Determina la relación entre la masa y el volumen de un material sin la presencia de humedad.

$$\delta_{seca} = \frac{\delta}{1 + \left(\frac{\%H}{100}\right)}$$

Presión (lb/in2):

Es la relación entre una fuerza o carga aplicada y el área donde se aplica.

$$P = \frac{Carga\ Real}{Área\ pisón}$$

4.3. ENSAYOS EN BASES CON ADICIÓN DE ESCORIA DE ACERO:

4.3.1. DETERMINACIÓN DE PORCENTAJE DE ESCORIA A UTILIZAR:

Dentro de este trabajo, es importante identificar el porcentaje que se usará para el desarrollo del tema, sin embargo, se consideró, para la elección correcta de la cantidad de escoria, valores constructivos razonables para la aplicación en el mejoramiento de bases, por esta razón, se determinó valores porcentuales de 5%, 10%, 15%, 20% y 25% de la cantidad total de la muestra de los ensayos realizados a continuación.

4.4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS:

4.4.1. Base Granular:

En este apartado del proyecto de investigación, se procederá al análisis y descripción de los resultados obtenidos en la práctica o ensayos en laboratorio de una base. Por lo que se presentará ilustraciones y tablas destacables de todo el estudio realizado. (Véase ANEXO D: Ensayos en Base).

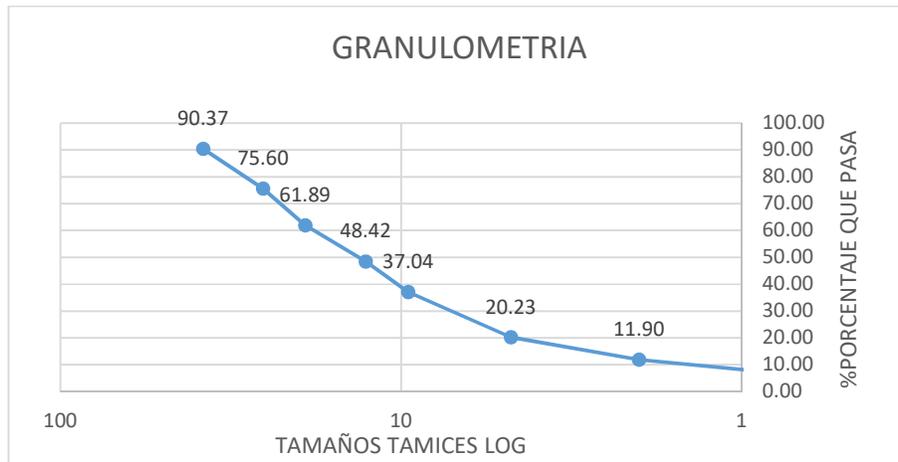
Granulometría:

Tabla 30 Resultado de Granulometría de una Base sin Modificar

#Tamiz	Diametro (mm)	Cant. Ret	Cant. Ret. Acum	%Retenido	%Pasa
1 1/2	38,1	2463	2463	9,63	90,37
1	25,4	3777,5	6240,5	24,40	75,60
3/4	19,1	3507,5	9748	38,11	61,89
1/2	12,7	3446	13194	51,58	48,42
3/8	9,52	2910	16104	62,96	37,04
#4	4,76	4299	20403	79,77	20,23
PASANTE					
#4	-	5428,5	25831,5	100,99	
#10	2	167	167	88,10	11,90
#40	0,42	164	331	96,28	3,72
#200	0,074	68,5	399,5	99,70	0,00
FONDO	-	5,5	405		

Según se observa en la Tabla 30, se observa una distribución de agregados de una muestra de base tamizada, donde contiene mayor presencia de agregados gruesos (72.29%) y de agregados finos (27.71%).

Ilustración 12 Curva Granulométrica de Base sin Modificación



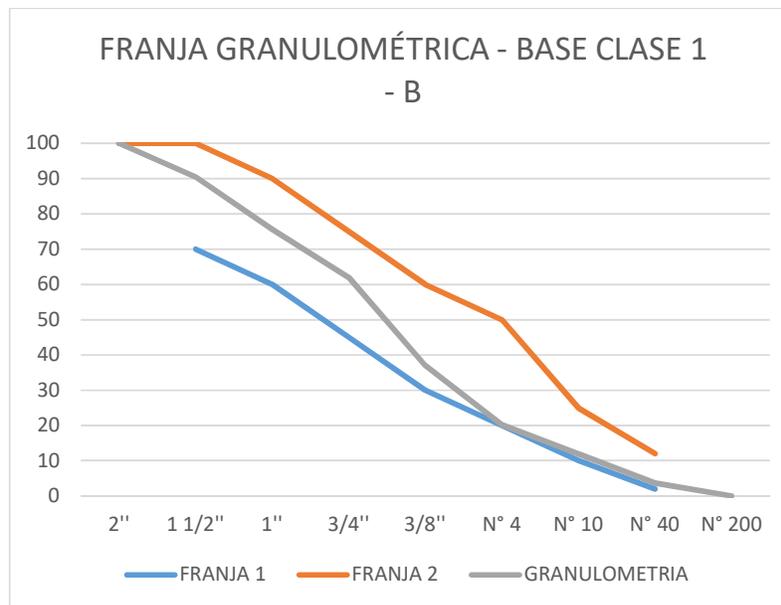
En esta Ilustración 12, se observa el porcentaje que pasa del material granular a través de las aberturas de los tamices para agregados gruesos y finos. Por lo que se destaca, nuevamente, la presencia de áridos gruesos, en su mayoría, que se abren paso por las aberturas de los tamices. Al final de la Ilustración 12 se observa el paso de los agregados finos.

Obtenido los resultados granulométricos, se procede a identificar el tipo de clase de base granular pertenece, por lo que, tomando como guía la sección 404-1, (MTO, 2002), la Tabla 404-1.1, 404-1.2, 404-1.3 y 404-1.4, se determinó que, según la granulometría, la base se asemeja, en su mayoría, dentro de la franja granulométrica, a la clase 1-B. (Véase Ilustración 13)

Tabla 31 Porcentaje que pasa por cada tamiz

TAMIZ		BASE CLASE 1 - B		
		MIN	MAX	DADA
2"	50 mm		100	100
1 1/2"	37,5 mm	70	100	90,37
1"	25 mm	60	90	75,60
3/4"	19 mm	45	75	61,89
3/8"	9,5 mm	30	60	37,04
N° 4	4,75 mm	20	50	20,23
N° 10	2 mm	10	25	11,90
N° 40	0,425 mm	2	12	3,72
N° 200	0,075 mm			0,00

Ilustración 13 Resultado Franja Granulométrica de Base sin Modificación



4.4.1. CONTENIDO DE HUMEDAD:

Para el estudio del contenido de humedad, se lo realizó, conjuntamente con el ensayo de granulometría, ya que, en este apartado, para su ejecución, se necesita tender el material en una bandeja grande, por lo que empieza su proceso de secado a la intemperie, sin embargo, se extrajo muestras en recipientes pequeños para efectos de este ensayo, para lograr determinar su porcentaje promedio de humedad presente en la base en su estado natural.

Tabla 32 Resultado del Contenido de Humedad presente en una Base sin Modificar

RECIPIENTE	59	A	31	S10	Unidad
Peso Humedo + Tarro (Wh+T)	71,5	78,2	68,8	91,2	
Peso Seco + Tarro (Ws+T)	66,75	73,63	63,95	86,12	gr
Peso Tarro (Wt)	44,5	52,9	43,4	64,8	
Peso Seco (Ws)	22,25	20,73	20,55	21,32	
Peso Agua (Wa)	4,75	4,57	4,85	5,08	
Porcentaje de Humedad (%H)	21,35	22,05	23,60	23,83	
Promedio de Porcentaje de Humedad (%Hprom)			22,71		%
# Golpes	40	35	27	22	U

En la Tabla 32, se observa que el porcentaje de humedad determinada es de 22.71%, este valor, significa la presencia de agua dentro del material granular tipo base, que, para los siguientes ensayos, será necesario tener presente este valor. Con esto, se evidencia la presencia natural de agua en las minas de extracción de áridos.

4.4.2. ABRASIÓN:

En este ensayo, se determinó la resistencia a la degradación o al desgaste de los agregados gruesos de la base granular.

Tabla 33 Porcentaje de Abrasión de los Agregados Gruesos de una Base sin Modificar

ABERTURA DE LOS TAMICES EN (mm)		Peso del material según el tipo de gradación (gr)	GRADACIÓN			
Pasante	Retenido		Tipo A	Tipo B	Tipo C	Tipo D
37,5	25	1250	1250±25	-----	'-----	'-----
25	19	1250	1250±25	-----	'-----	'-----
19	12,5	1250	1250±10	2500±10	'-----	'-----
12,5	9,5	1250	1250±10	2500±10	'-----	'-----
9,5	6,3		-----	'-----	2500±10	'-----
6,3	4,75		'-----	'-----	2500±10	'-----
4,75	2,36		'-----	'-----	'-----	5000±10
TOTAL		5000	5000±10	5000±10	5000±10	5000±10

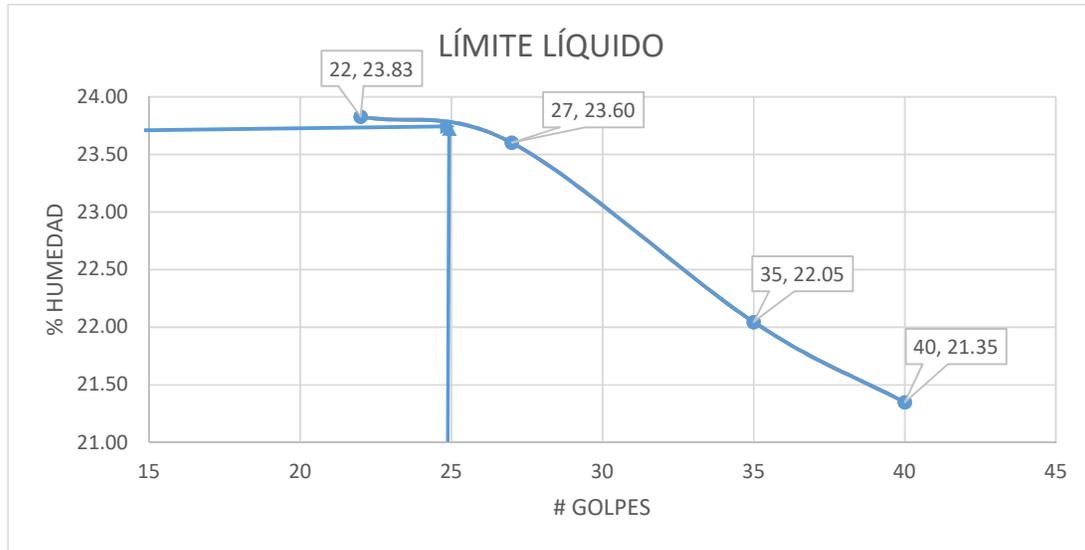
Como se aprecia en la Tabla 33, presenta un porcentaje de desgaste de un 27.31%, el cual significa que un 72.69%, resiste a la fricción o a la degradación con otros materiales, por lo que se infiere que es un material resistente.

4.4.3. LÍMITES DE ATTERBERG:

Tabla 34 Resultado de porcentajes de humedad para Límite Líquido

RECIPIENTE	59	A	31	S10	Unidad
Peso Humedo + Tarro (Wh+T)	71,5	78,2	68,8	91,2	
Peso Seco + Tarro (Ws+T)	66,75	73,63	63,95	86,12	gr
Peso Tarro (Wt)	44,5	52,9	43,4	64,8	
Peso Seco (Ws)	22,25	20,73	20,55	21,32	
Peso Agua (Wa)	4,75	4,57	4,85	5,08	
Porcentaje de Humedad (%H)	21,35	22,05	23,60	23,83	
Promedio de Porcentaje de Humedad (%Hprom)			22,71		%
# Golpes	40	35	27	22	U

Ilustración 14 Grafica de determinación del Límite Líquido a los 25 golpes



Este ensayo, tiene como finalidad, determinar un parámetro, como lo es el Índice de Plasticidad (IP), para proceder a la clasificación del tipo de suelo que se está analizando. Por lo que, inicialmente, se procede analizar, el límite líquido en el que se encuentra el material granular. Según se evidencia en la Tabla 34 y en la Ilustración 14, el Límite Líquido (LL) a sus 25 golpes, presenta un porcentaje aproximado de 23.75%.

Seguidamente, se continua el proceso con el ensayo para la determinación del Límite Plástico (LP), que, a diferencia del LL, es necesario conocer el porcentaje de humedad presente en el material, el cual, como se evidencia en la Tabla 35, es de 19.66%. Dándonos como resultado un IP de 4.09% (Véase Tabla 36), que se encuentra dentro de las consideraciones por las normativas, para que el material sea identificado como base granular.

Tabla 35 Determinación del Límite Plástico

RECIPIENTE	P8	P6	24	T08	Unidad
Peso Humedo + Tarro (Wh+T)	12,24	12,27	44,92	36,6	
Peso Seco + Tarro (Ws+T)	12	12,07	44,78	36,41	
Peso Tarro (Wt)	10,7	11	44,1	35,5	gr
Peso Seco (Ws)	1,3	1,07	0,68	0,91	
Peso Agua (Wa)	0,24	0,2	0,14	0,19	
Porcentaje de Humedad (%H)	18,46	18,69	20,59	20,88	
Promedio de Porcentaje de Humedad (%Hprom)		19,66			%

Tabla 36 Resultado del Índice de Plasticidad

FORMULA

$$I_p = \text{Límite Líquido} - \text{Límite Plástico}$$

$$I_p = LL - LP = 4,09$$

4.4.4. CLASIFICACIÓN DEL SUELO:

MÉTODO AASHTO:

Ilustración 15 Clasificación de Suelos por el Método AASHTO

Clasificación general	Materiales granulares (35% o menos pasa el tamiz #200)						Materiales limoarcillosos (más de 35% pasa el tamiz #200)				
	A-1		A-3 ^A	A-2			A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5 A-7-6	
Clasificación de grupo	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				
Tamizado, % que pasa											
No. 10 (2.00mm)	50 máx.	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
No. 40 (425µm)	30 máx.	50 máx.	51 mín.	...	...	...	...	...	...	...	...
No. 200 (75µm)	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 mín.	36 mín.	36 mín.
Consistencia											
Límite líquido			...			B		40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Índice de plasticidad	6 máx.		N.P.	B				10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín. ^B
Tipos de materiales característicos	Cantos, grava y arena		Arena fina	Grava y arena limoarcillosas				Suelos limosos		Suelos arcillosos	
Calificación	Excelente a bueno						Regular a malo				

^A La colocación de A3 antes de A2 en el proceso de eliminación de izquierda a derecha no necesariamente indica superioridad de A3 sobre A2.

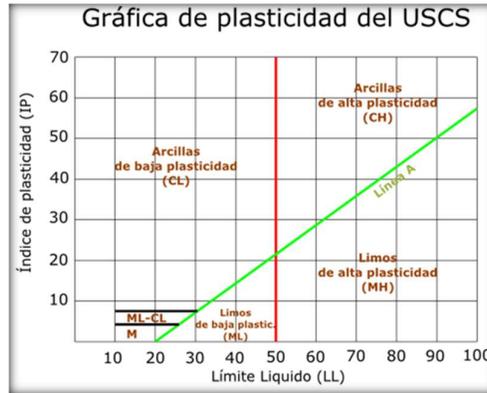
^B El índice de plasticidad del subgrupo A-7-5 es igual o menor que LL-30. El índice de plasticidad del subgrupo A-7-6 es mayor que LL-30.

Fuente: AASHTO

Según se puede observar en la Ilustración 15, una vez obtenido todos los resultados anteriores, se procedió a identificar, haciéndose uso de los valores de granulometría, LL, LP e IP, se infiere que la base granular estudiada, pertenece al grupo A-1 (A-1-a), identificado dentro de cantos, grava y arena. Se le clasifica dentro del rango de excelente a bueno.

MÉTODO SUCS:

Ilustración 16 Gráfica de Plasticidad por el método USCS



Fuente: SUCS

De igual forma, y para tener mayor información, referente al tipo de suelo que se estudia, siguiendo las directivas del método SUCS (Ilustración 16), se infiere que, para agregados finos, haciendo uso de los valores anteriormente mencionados, se identifica como una grava bien graduada con arena; significa un suelo limpio con presencia de partículas gruesas.

4.4.5. PROCTOR MODIFICADO:

Tabla 37 Proporción de agregados para el Ensayo de Proctor Modificado

Cant. Ag. Grueso =	14162,5	gr
Cant. Ag. Fino =	5428,5	gr
Cant. Total Muestra =	19591	gr
% Ag. Grueso =	72,29	%
% Ag. Fino =	27,71	%
Muestra Ensayo =	5500	Gr
Ag. Grueso =	3976,00	Gr
Ag. Fino =	1524,00	Gr

Según se puede apreciar en la Tabla 37, se observa la distribución de agregados gruesos y finos que se hará uso para el ensayo de Proctor modificado. Esto se determinó, para una

muestra de 5500 gr, con la proporción calculada en la granulometría, por lo que, la cantidad de agregado grueso será de 3976 gr y de agregado fino 1524 gr. Estos valores se usarán para el ensayo de CBR.

Siguiendo los procedimientos 2 al 6, del apartado 4.2.5 del índice de este proyecto, se calculó el porcentaje de humedad presente en una muestra pequeña de material granular el cual, es de 0.52%. A continuación, se calculó la cantidad de agua que se irá agregando a cada muestra o molde, aumentando un 3% cada vez. (Véase Tabla 38)

Tabla 38 Cantidad de agua calculada para el ensayo de Proctor Modificado

% H real	% Aparente	Cant Agua (cm3)	
0,52	0	0	0
3,52	3	53,37	55
6,52	6	98,85	100
9,52	9	144,33	150
12,52	12	189,81	190
15,52	15	235,30	250
18,52	18	280,78	300
21,52	21	326,26	330
24,52	24	371,74	375
27,52	27	417,23	420
30,52	30	462,71	470
33,52	31	508,19	510

Tabla 39 Resultado de Pesos Compactados de cada muestra

N° Muestra	1	2	3	4	5
% H real	6,52	9,52	15,52	18,52	24,52
Cant. Agua (cm3)	100	150	250	300	375
Volúmen Cilindro (cm3)	2123,42				
Peso Cilindro (Wc) (gr)	6597				
Peso Compactado (Wc+M) (gr)	11136,6	11326,2	11429,7	11652,2	10771

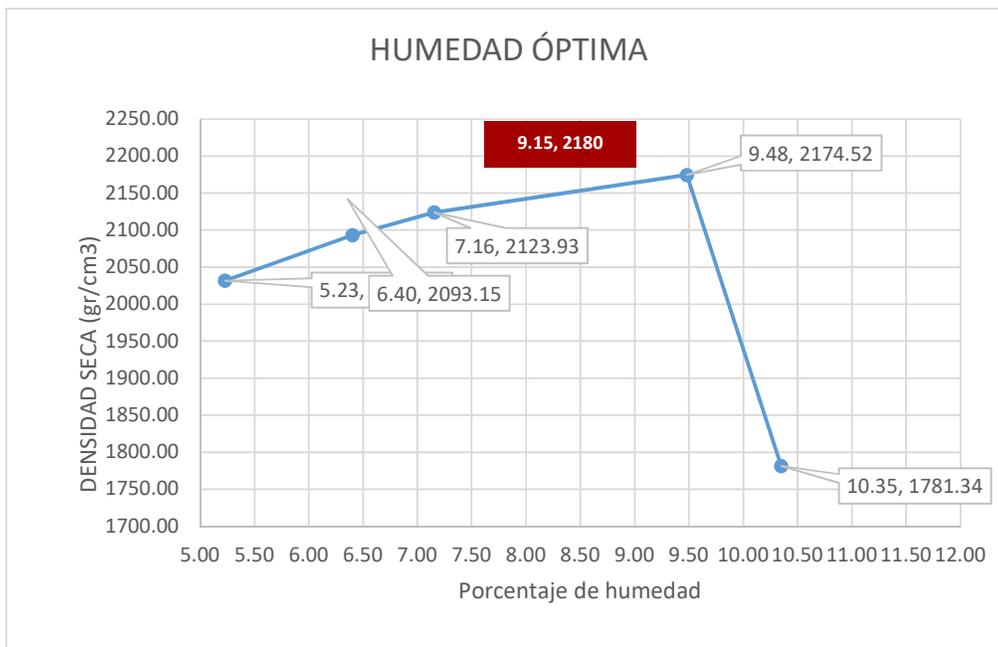
Se inició el proceso de compactación en cada molde, con la cantidad descrita antes de material granular, sin embargo, como se observa en la Tabla 39, en las primeras muestras compactadas, se evidencia un claro aumento del peso en el material, sin embargo, para lograr la determinación de la humedad óptima, se procedió a realizar la toma de una muestra extra, añadiendo una cantidad de agua elevada y así conseguir una disminución en su peso compactado.

Para culminar, se calculó la densidad seca real, en función del porcentaje de humedad y el peso compactado del material granular (Véase Tabla 40), se determinó la humedad óptima, según la Ilustración 17, cuyo resultado es el de 8.9% con una densidad máxima de 2190 kg/m³.

Tabla 40 Resultado final del Porcentaje de Humedad y su Densidad Seca Real

% H real	δs (kg/m3)
5,23	2031,65
6,40	2093,15
7,16	2123,93
9,48	2174,52
10,35	1781,34

Ilustración 17 Gráfica Densidad Seca vs Porcentaje de Humedad



4.4.6. CBR

Como se mencionó en el anterior ensayo, se usó la misma distribución de agregados para la ejecución de este apartado (Véase Tabla 37), de igual forma, siguiendo los procedimientos 2 al 4, del apartado 4.2.6 del índice, se procedió a calcular la cantidad de agua, tomando en cuenta el porcentaje de humedad óptima, calculada del ensayo de Proctor modificado.

Tabla 41 Cantidad de Agua calculada para el ensayo CBR

FORMULA		
$W_w = \frac{\left(\%H_{optima} - \%H + \left(\frac{\sum \%H \text{ real usado}}{\# \text{ datos}} \right) \right) * W_{seco}}{100}$		
Cc real =	345,00	cm³

Para este ensayo, se hizo uso de una sola cantidad de agua para todas las muestras, la cual es de 345 cm³.

Se procedió a realizar la compactación de 12, 25 y 56 golpes; al mismo tiempo, se tomó muestras del porcentaje de humedad, con el objetivo de controlar su aumento en cada molde, el cual debe ser menor o igual a 1% entre cada una. Como se aprecia en la Tabla 42, se evidencia lo anterior, siendo estos porcentajes de 7.33%, 7.16% y 7.19%.

Tabla 42 Resultado del Porcentaje de Humedad en Base

MOLDE CBR	MOLDE 22		MOLDE 25		MOLDE 56		Unidad
RECIPIENTE	9	26	5	202	13	CB1	
Peso Humedo + Tarro (Wh+T)	154,85	142,17	172,14	131,58	169,19	163,04	
Peso Seco + Tarro (Ws+T)	146,63	134,13	162,25	124,94	160,67	153,22	
Peso Tarro (Wt)	29,2	29,09	29,21	28,58	28,98	29,17	gr
Peso Seco (Ws)	117,43	105,04	133,04	96,36	131,69	124,05	
Peso Agua (Wa)	8,22	8,04	9,89	6,64	8,52	9,82	
Porcentaje de Humedad (%H)	7,00	7,65	7,43	6,89	6,47	7,92	
Promedio de Porcentaje de Humedad (%Hprom)		7,33		7,16		7,19	%

Después del proceso de compactación, se procedió a sumergir las muestras en la piscina de agua durante los 4 días. Pasado el tiempo necesario, se midió la existencia de esponjamiento del material, por la saturación del mismo, sin embargo, por la presencia de gravas en su mayoría, su valor fue cero.

Se procedió a romper los cilindros, haciendo uso de la prensa para CBR, del laboratorio de suelo, tomando lecturas de carga y siguiendo los procedimientos del apartado 4.2.6; se calculó las presiones aplicadas en la prensa y los valores CBR, de cada molde dependiendo de número de golpes, para seguidamente, corregirlo, de ser necesario, como se muestra en las Tablas 43, 44, 45 y en las Ilustraciones 18, 19, 20, respectivamente.

Tabla 43 Resultado a 12 Golpes de la Rotura de Cilindro para CBR

MOLDE	DEFOR .	DEFOR . (in)	LECTUR A CARGA	CARG A REAL (lb)	PRESIÓN N (lb/in²)	PRESIÓN N CORRIG.	PRESIÓN ESTÁNDAR	CBR
	0	0,000	0	0,00	0,00		-	
	25	0,025	13	94,48	30,48		-	
	50	0,050	25	162,96	52,57		-	
	75	0,075	36	225,74	72,82		-	
	100	0,100	48	294,22	94,91	94,91	1000	9,49
	150	0,150	73	436,89	140,93		-	
25	200	0,200	95	562,45	181,43	181,43	1500	12,10
	250	0,250	121	710,82	229,30		-	
	300	0,300	144	842,08	271,64	271,64	1900	14,30
	400	0,400	194	1127,43	363,69		-	
	500	0,500	226	1310,05	422,60		-	

Ilustración 18 Gráfica de Corrección de Presión de Molde de 12 Golpes

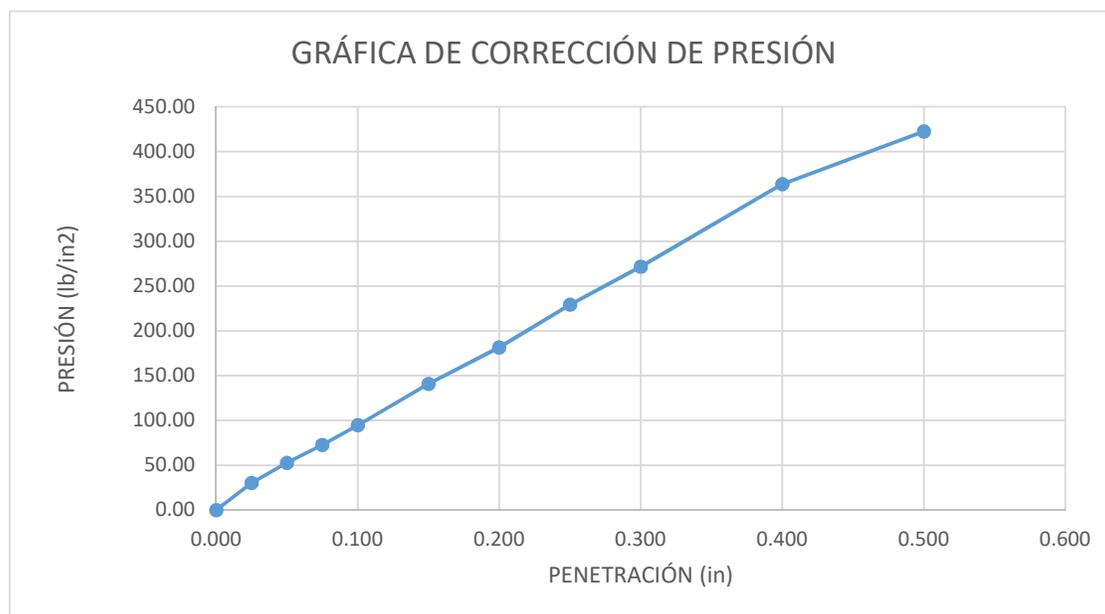


Tabla 44 Resultado a 25 Golpes de la Rotura de Cilindro para CBR

MOLDE	DEFOR.	DEFOR. (in)	LECTURA CARGA	CARGA REAL (lb)	PRESIÓN (lb/in ²)	PRESIÓN CORRIG.	PRESIÓN ESTÁNDAR	CBR
	0	0,000	0	0,00	0,00		-	
	25	0,025	53	322,76	104,11		-	
	50	0,050	96	568,15	183,27		-	
	75	0,075	139	813,55	262,44		-	
56	100	0,100	178	1036,12	334,23	334,23	1000	33,42
	150	0,150	255	1475,55	475,98		-	
	200	0,200	327	1886,45	608,53	608,53	1500	40,57
	250	0,250	404	2325,88	750,28		-	
	300	0,300	480	2759,60	890,19	890,19	1900	46,85
	400	0,400	608	3490,09	1125,83		-	
	500	0,500	730	4186,33	1350,43		-	

Ilustración 19 Gráfica de Corrección de Presión de Molde de 25 Golpes

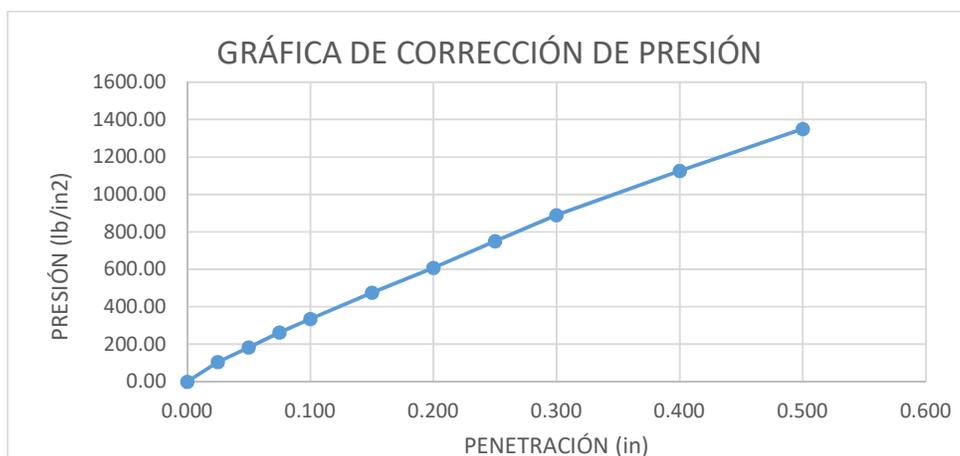
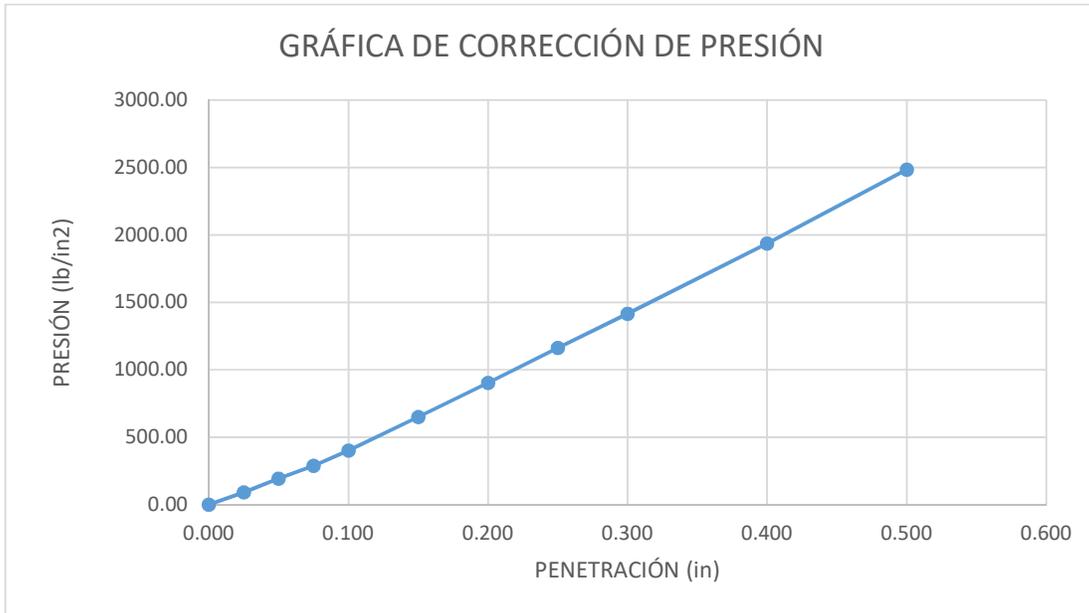


Tabla 45 Resultado a 56 Golpes de la Rotura de Cilindro para CBR

MOLDE	DEFORMACIÓN	DEFORMACIÓN (in)	LECTURA A CARGA	CARGA REAL (lb)	PRESIÓN REAL (lb/in²)	PRESIÓN CORRIGIDA	PRESIÓN ESTÁNDAR	CBR
70	0	0,000	0	0	0,00		-	
	25	0,025	46	282,81	91,23		-	
	50	0,050	101	596,69	192,48		-	
	75	0,075	153	893,45	288,21		-	
	100	0,100	215	1247,27	402,35	650,87	1000	65,09
	150	0,150	350	2017,71	650,87		-	
	200	0,200	487	2799,55	903,08	1280	1500	85,33
	250	0,250	628	3604,22	1162,65		-	
	300	0,300	765	4386,07	1414,86	1700	1900	89,47
	400	0,400	1048	6001,12	1935,85		-	
500	0,500	1346	7701,78	2484,44		-		

Ilustración 20 Gráfica de Corrección de Presión de Molde de 56 Golpes

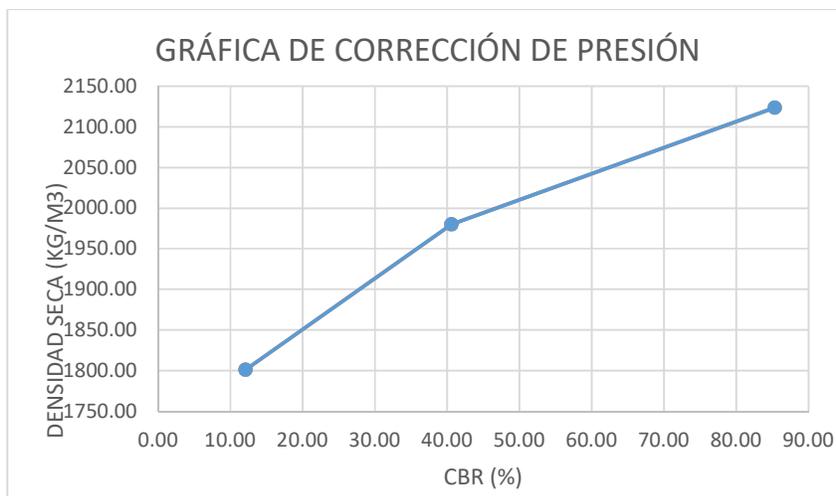


Como resultado final, se observa en la Tabla 46 y la Ilustración 21, que el CBR calculado al 100% de compactación es de 85.33%, lo que también cumple como requisito para ser determinado como base granular, según (MTO, 2002).

Tabla 46 Valores CBR y Densidades Secas Calculadas

CBR	δ_s (kg/m³)
12,10	1801,01
40,57	1979,87
85,33	2123,60

Ilustración 21 Gráfica de Corrección de Presión Final para CBR



4.4.7. Base Modificada con Escoria de Acero:

En este apartado del proyecto de investigación, se procederá al análisis y descripción de los resultados obtenidos en los ensayos en laboratorio de una base con la adición de los porcentajes de escoria de acero (5%, 10%, 15%, 20%, 25%), en los agregados finos. Por lo que se presentará ilustraciones y Tablas destacables de todo el estudio realizado. (Véase ANEXO C)

Granulometría:

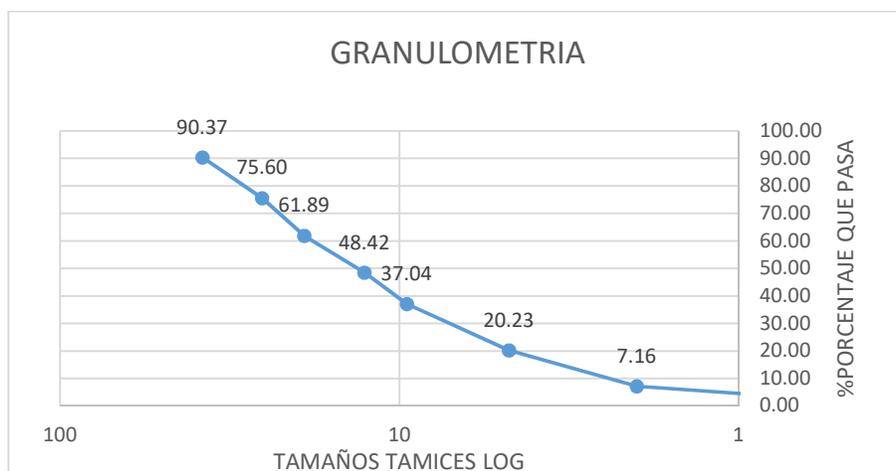
Para la determinación de este ensayo, se tomó como punto de partida, un valor de adición de escoria negra de acero intermedio, con el fin de identificar si existe alguna clase de variación, ya que, el reemplazo de los residuos de siderurgia, fue en la proporción fina del total de la muestra.

Porcentaje del 15%

Tabla 47 Granulometría en Base modificada con Escoria de Acero Negra al 15% de reemplazo de Ag. Fino

#Tamiz	Diametro (mm)	Cant. Ret	Cant. Ret. Acum	%Retenido	%Pasa
1 1/2	38,1	2463	2463	9,63	90,37
1	25,4	3777,5	6240,5	24,40	75,60
3/4	19,1	3507,5	9748	38,11	61,89
1/2	12,7	3446	13194	51,58	48,42
3/8	9,52	2910	16104	62,96	37,04
#4	4,76	4299	20403	79,77	20,23
PASANTE					
#4	-	5428,5	25831,5	100,99	
#10	2	262	262	92,84	7,16
#40	0,42	119,5	381,5	98,80	1,20
#200	0,074	51	432,5	101,35	0,00
FONDO	-	2,5	435		

Ilustración 22 Curva Granulométrica en Base Modificada con Escoria de Acero Negra al 15% de Ag. Fino



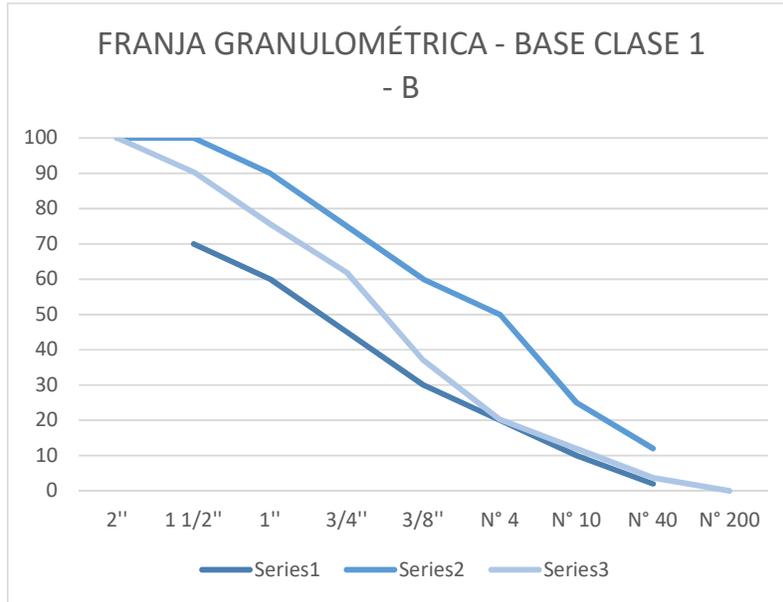
Como se aprecia en la Tabla 47 y la Ilustración 22, en comparación, de los resultados de granulometría de la Tabla 30 y la Ilustración 12, de la base sin modificación, se infirió que no existe una variación importante en sus resultados. Por lo que continuamos con el siguiente ensayo.

CARACTERIZACIÓN DE BASE:

Tabla 48 Granulometría de Base Modificada con Escoria de Acero al 15% para su Clasificación

TAMIZ		BASE CLASE 1 - B		
		MIN	MAX	DADA
2"	50 mm		100	100
1 1/2"	37,5 mm	70	100	90,37
1"	25 mm	60	90	75,60
3/4"	19 mm	45	75	61,89
3/8"	9,5 mm	30	60	37,04
N° 4	4,75 mm	20	50	20,23
N° 10	2 mm	10	25	11,90
N° 40	0,425 mm	2	12	3,72
N° 200	0,075 mm			0,00

Ilustración 23 Franja Granulométrica de Base Modificada con Escoria de Acero Negra al 15% de Ag. Finos



Límites de Atterberg:

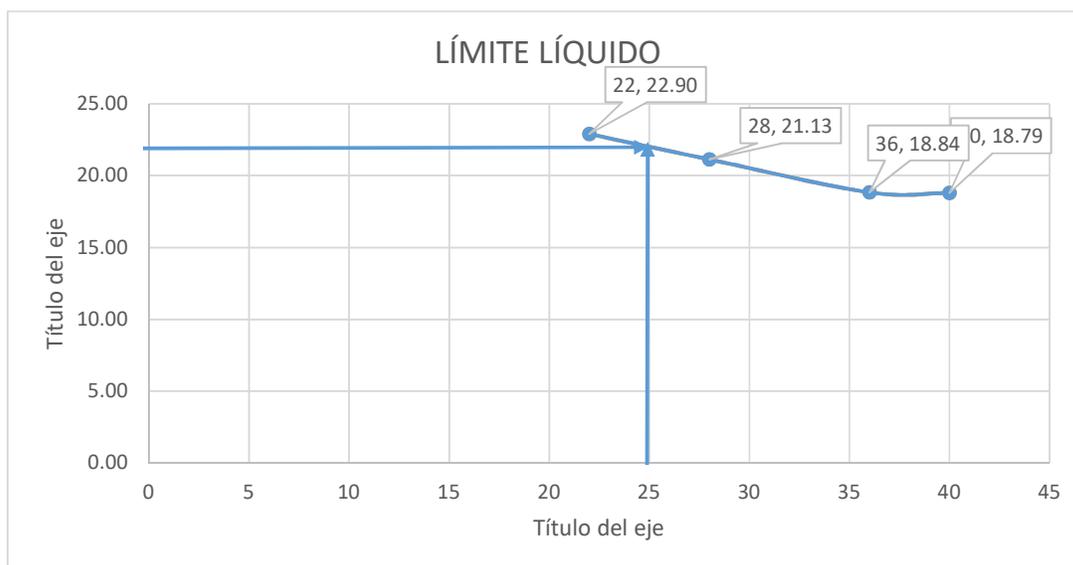
Al igual que en el ensayo de granulometría, se procedió a tomar un valor intermedio de 15% y un valor extremo de 25% en la adición de escoria de acero negra, con el objetivo de verificar si existe una variación importante.

Porcentaje del 15%

Tabla 49 Determinación del Límite Líquido con adición de escoria de acero al 15% de Ag. Finos

RECIPIENTE	26	13	31	25	Unidad
Peso Humedo + Tarro (Wh+T)	55	55,8	50,65	49,99	
Peso Seco + Tarro (Ws+T)	49,7	50,3	45,6	44,7	gr
Peso Tarro (Wt)	21,5	21,1	21,7	21,6	
Peso Seco (Ws)	28,2	29,2	23,9	23,1	
Peso Agua (Wa)	5,3	5,5	5,05	5,29	
Porcentaje de Humedad (%H)	18,79	18,84	21,13	22,90	%
Promedio de Porcentaje de Humedad (%Hprom)			20,42		
# Golpes	40	36	28	22	U

Ilustración 24 Porcentaje de Humedad vs Número de Golpes



Como se aprecia en la Ilustración 24 y la Tabla 49, el LL calculado aproximadamente a los 25 golpes, según indica la normativa del ensayo, fue de 22.70%, el cual, es menor al 40%, cumpliendo el requisito como base granular.

Tabla 50 Determinación del Límite Plástico con adición de escoria de acero al 15% de Ag. Finos

RECIPIENTE	11	6	17	12A	Unidad
Peso Humedo + Tarro (Wh+T)	25,25	25,07	24,68	26,34	
Peso Seco + Tarro (Ws+T)	24,5	24,6	24,1	25,7	
Peso Tarro (Wt)	20,68	21,93	21,27	22,06	gr
Peso Seco (Ws)	3,82	2,67	2,83	3,64	
Peso Agua (Wa)	0,75	0,47	0,58	0,64	
Porcentaje de Humedad (%H)	19,63	17,60	20,49	17,58	
Promedio de Porcentaje de Humedad (%Hprom)		18,83			%

Se evidencia el resultado del LP, en un valor de 18.83%. Lo que indica un índice de plasticidad de 3.87%, según la Tabla 51.

Tabla 51 Determinación del IP - Escoria al 15% de Ag. Finos

FÓRMULA
$I_p = \text{Límite Líquido} - \text{Límite Plástico}$
$I_p = LL - LP$
$I_p (\%) =$

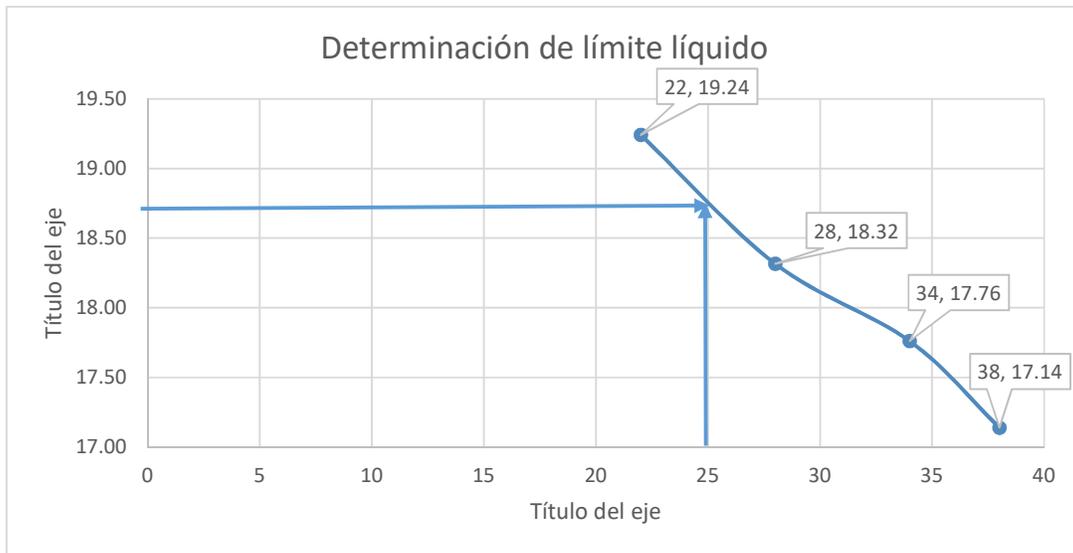
Se infirió que el valor del índice de plasticidad, continúa cumpliendo el requisito (IP menor a 6%) de una base granular, por lo que se puede continuar con los siguientes ensayos.

Porcentaje del 25%

Tabla 52 Determinación del Límite Líquido con adición de Escoria de Acero Negra al 25% de Ag. Finos

RECIPIENTE	P7	P8	P5	P14	Unidad
Peso Humedo + Tarro (Wh+T)	35,46	38,16	38,2	30,19	
Peso Seco + Tarro (Ws+T)	31,89	34,02	33,87	26,99	gr
Peso Tarro (Wt)	11,06	10,71	10,23	10,36	
Peso Seco (Ws)	20,83	23,31	23,64	16,63	
Peso Agua (Wa)	3,57	4,14	4,33	3,2	
Porcentaje de Humedad (%H)	17,14	17,76	18,32	19,24	%
Promedio de Porcentaje de Humedad (%Hprom)		18,11			
# Golpes	38	34	28	22	u

Ilustración 25 Porcentaje de Humedad vs Número de golpes. Escoria al 25% de Ag. Finos



Según la Ilustración 25 y la Tabla 52, el LL calculado aproximadamente a los 25 golpes, según indica la normativa del ensayo, fue de 18.75%, el cual, es menor al 40%, por lo que continúa cumpliendo el requisito como base granular.

Tabla 53 Determinación del Límite Plástico. Escoria al 25% de Ag. Finos

RECIPIENTE	P10	P12	P11	P6	Unidad
Peso Humedo + Tarro (Wh+T)	13,87	15,84	12,22	13,14	
Peso Seco + Tarro (Ws+T)	13,56	15,43	11,94	12,8	
Peso Tarro (Wt)	11,77	12,93	10,05	10,96	gr
Peso Seco (Ws)	1,79	2,5	1,89	1,84	
Peso Agua (Wa)	0,31	0,41	0,28	0,34	
Porcentaje de Humedad (%H)	17,32	16,40	14,81	18,48	%
Promedio de Porcentaje de Humedad (%Hprom)		16,75			

El LP arroja un resultado de 16.75%. Lo que concluye en un índice de plasticidad de 2%, según la Tabla 53.

Observado los resultados, con la adición de escoria de 15% y 25%, para la realización de este ensayo, se infiere, que, mientras mayor sea la cantidad de adición de escoria negra de acero, el IP disminuye, lo que se traduce como la disminución en la capacidad plástica del material, es decir, tiende a ser un material no plástico (NP). Sin embargo, considerando que, se utilizó el mayor porcentaje planteado en el proyecto, en la ejecución de este ensayo, y destacando que, de igual forma, continúa cumpliendo uno de los requisitos de la normativa para una base granular. Se concluye continuar con el siguiente ensayo, limitando a éste, a únicamente dos porcentajes.

Tabla 54 Determinación del IP - Escoria al 25% de Ag. Finos

FÓRMULA
<i>Ip = Límite Líquido – Límite Plástico</i>
$Ip (\%) = Ip = LL - LP \quad 2,00$

Proctor Modificado:

Porcentaje del 5%:

Tabla 55 Proporción de Agregados con adición de Escoria al 5% del Ag. Fino

Cant. Ag. Grueso =	14162,5	gr
Cant. Ag. Fino =	5428,5	gr
Cant. Total Muestra =	19591	Gr
% Ag. Grueso =	72,29	%
% Ag. Fino =	27,71	%
Muestra Ensayo =	5500	Gr
Ag. Grueso =	3976,00	Gr
Ag. Fino =	1447,80	Gr
Ag. Escoria 5% =	76,20	Gr

Se observa, en la Tabla 55, la clara distribución de agregados gruesos, finos y la adición de la escoria negra de acero, en su porcentaje de 5%, que se usó durante el ensayo.

Tabla 56 Cantidad de Agua usada en el ensayo con Escoria al 5% del Ag. Fino

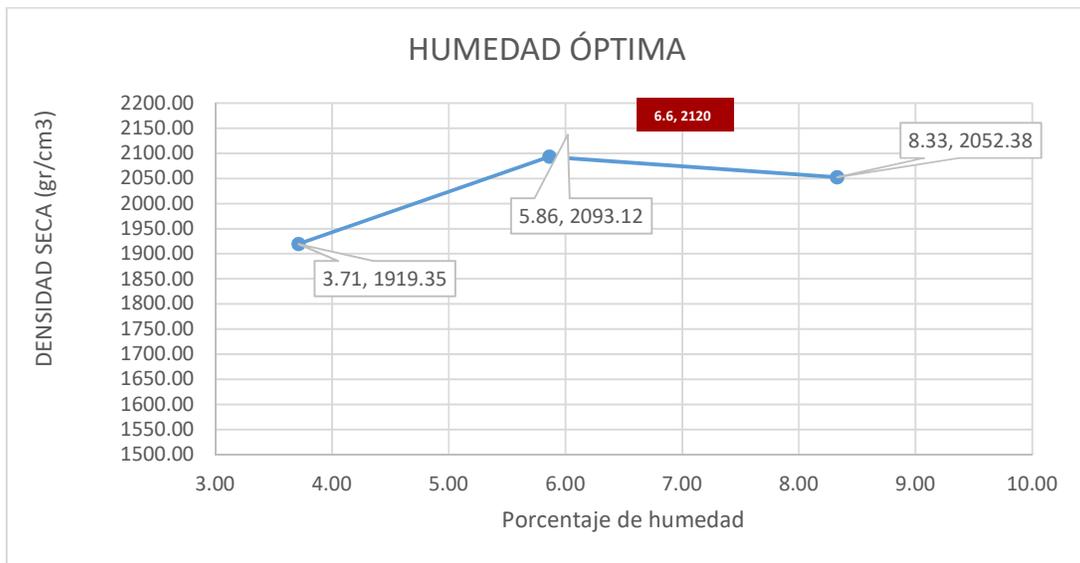
% H real	% Aparente	Cant Agua (cm3)	
3,83	0	0	0
6,83	3	100,20	110
9,83	6	144,23	145
12,83	9	188,27	190
15,83	12	232,30	235
18,83	15	276,34	280
21,83	18	320,37	325
24,83	21	364,41	370
27,83	24	408,44	410
30,83	27	452,48	455
33,83	30	496,51	500
36,83	31	540,55	545

En esta sección, el objetivo de este estudio, es determinar la humedad óptima y su densidad máxima, para cada punto porcentual, para el cual, el contenido de agua es una pieza clave durante el proceso, por lo que se calculó nuevamente los valores, ocupando las cantidades de 145 cm³, 280 cm³ y 410 cm³, como se observa en la Tabla 56.

Tabla 57 Resultado Final del Porcentaje de Humedad y Densidad Seca Real. Escoria al 5%

% H real	δs (kg/m3)
3,71	1919,35
5,86	2093,12
8,33	2052,38

Ilustración 26 Gráfica Resultado de Humedad Óptima. Escoria al 5%



Se destaca los resultados de la densidad seca real vs porcentaje de humedad, consiguientemente, se determinó una humedad óptima, según la Ilustración 26, cuyo resultado es el de 6.6 % con una densidad máxima de 2120 kg/m³.

Porcentaje del 10%

Tabla 58 Proporción de Agregados con adición de Escoria al 10% del Ag. Fino

Cant. Ag. Grueso =	14162,5	gr
Cant. Ag. Fino =	5428,5	gr
Cant. Total Muestra =	19591	Gr
% Ag. Grueso =	72,29	%
% Ag. Fino =	27,71	%
Muestra Ensayo =	5500	Gr

Ag. Grueso =	3976,00	Gr
Ag. Fino =	1371,60	Gr
Ag. Escoria 10% =	152,40	Gr

Se observa, en la Tabla 58, la clara distribución de agregados gruesos, finos y la adición de la escoria negra de acero, en su porcentaje de 10%, que se usó durante el ensayo.

Tabla 59 Cantidad de Agua usada en el ensayo con Escoria al 10% del Ag. Fino

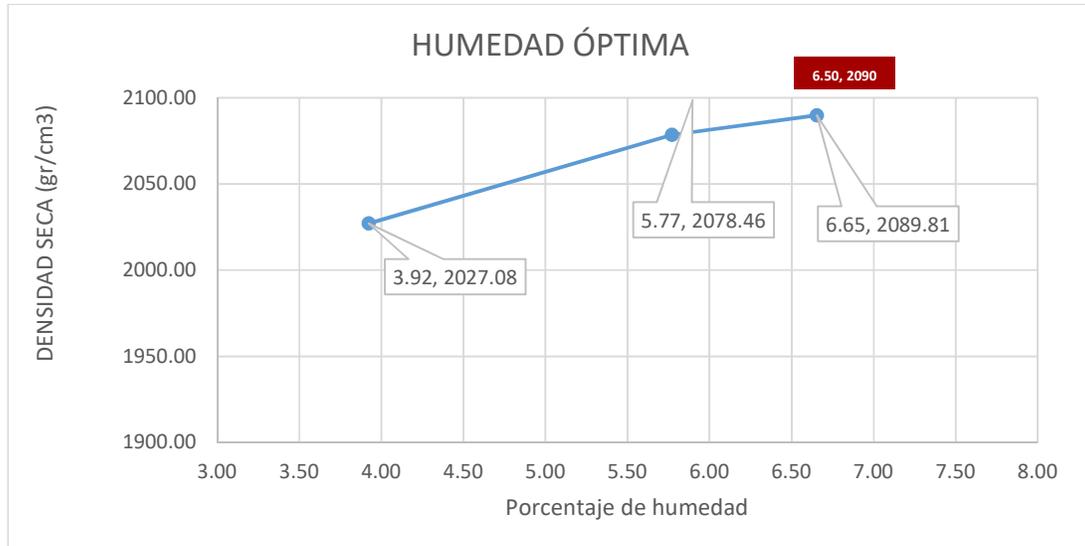
% H real	% Aparente	Cant Agua (cm3)	
2,93	0	0	0
5,93	3	87,84	80
8,93	6	132,26	120
11,93	9	176,68	160
14,93	12	221,09	200
17,93	15	265,51	240
20,93	18	309,93	280
23,93	21	354,35	320
26,93	24	398,76	360
29,93	27	443,18	400
32,93	30	487,60	440
35,93	31	532,02	480

En esta sección, el objetivo de este estudio, es determinar la humedad óptima y su densidad máxima, para cada punto porcentual, para el cual, el contenido de agua es un elemento clave durante el proceso, por lo que se calculó nuevamente éste mismo. Ocupando las cantidades de 160 cm³, 280 cm³ y 400 cm³, como se observa en la Tabla 59.

Tabla 60 Resultado Final del Porcentaje de Humedad y Densidad Seca Real. Escoria al 10%

% H real	δs (kg/m3)
3,92	2027,08
5,77	2078,46
6,65	2089,81

Ilustración 27 Gráfica Resultado de Humedad Óptima. Escoria al 10%



Se puede observar, que los resultados de la densidad seca real vs porcentaje de humedad. Se obtuvo una humedad óptima, según la Ilustración 27, cuyo resultado es el de 6.5 % con una densidad máxima de 2090 kg/m³.

Porcentaje del 15%

Tabla 61 Proporción de Agregados con adición de Escoria al 15% del Ag. Fino

Cant. Ag. Grueso =	14162,5	gr
Cant. Ag. Fino =	5428,5	gr
Cant. Total Muestra =	19591	gr
% Ag. Grueso =	72,29	%
% Ag. Fino =	27,71	%
Muestra Ensayo =	5500	gr
Ag. Grueso =	3976,00	Gr
Ag. Fino =	1295,40	Gr
Ag Escoria 15% =	228,60	Gr

Se observa, en la Tabla 61, la clara distribución de agregados gruesos, finos y la adición de la escoria negra de acero, en su porcentaje de 15%, que se usó durante el ensayo.

Tabla 62 Cantidad de Agua usada en el ensayo con Escoria al 15% del Ag. Fino

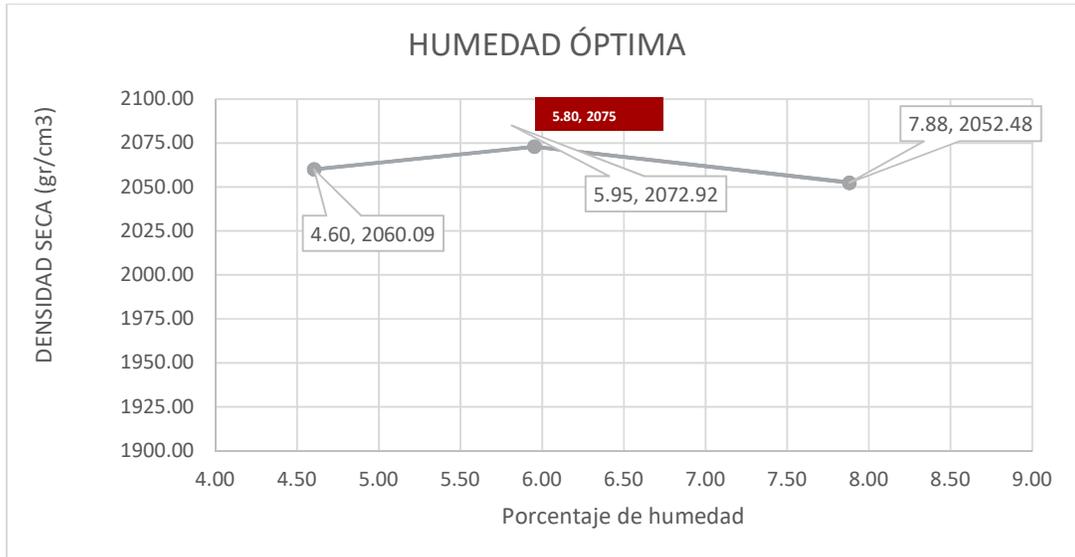
% H real	% Aparente	Cant Agua (cm3)	
2,38	0	0	0
5,38	3	80,12	85
8,38	6	124,78	130
11,38	9	169,43	175
14,38	12	214,09	220
17,38	15	258,74	260
20,38	18	303,40	305
23,38	21	348,06	350
26,38	24	392,71	400
29,38	27	437,37	440
32,38	30	482,02	490
35,38	31	526,68	530

En esta sección, el objetivo de este estudio, es determinar la humedad óptima y su densidad máxima, para cada punto porcentual, para el cual, el contenido de agua es una pieza clave durante el proceso, por lo que se calculó nuevamente éste mismo. Ocupando las cantidades de 175 cm³, 305 cm³ y 440 cm³, como se observa en la Tabla 62.

Tabla 63 Resultado Final del Porcentaje de Humedad y Densidad Seca Real. Escoria al 15%

% H real	δs (kg/m3)
4,60	2060,09
5,95	2072,92
7,88	2052,48

Ilustración 28 Gráfica Resultado de Humedad Óptima. Escoria al 15%



En este apartado, se evidencia los resultados de la densidad seca real vs porcentaje de humedad. Se obtuvo una humedad óptima, según la Ilustración 28, cuyo resultado es el de 5.8 % con una densidad máxima de 2075 kg/m³.

Porcentaje del 20%

Tabla 64 Proporción de Agregados con adición de Escoria al 20% del Ag. Fino

Cant. Ag. Grueso =	14162,5	gr
Cant. Ag. Fino =	5428,5	gr
Cant. Total Muestra =	19591	gr
% Ag. Grueso =	72,29	%
% Ag. Fino =	27,71	%
Muestra Ensayo =	5500	gr
Ag. Grueso =	3976,00	gr
Ag. Fino =	1219,20	gr
Ag Escoria 20% =	304,80	Gr

Se observa, en la Tabla 64, la clara distribución de agregados gruesos, finos y la adición de la escoria negra de acero, en su porcentaje de 20%, que se usó durante el ensayo.

Tabla 65 Cantidad de Agua usada en el ensayo con Escoria al 20% del Ag. Fino

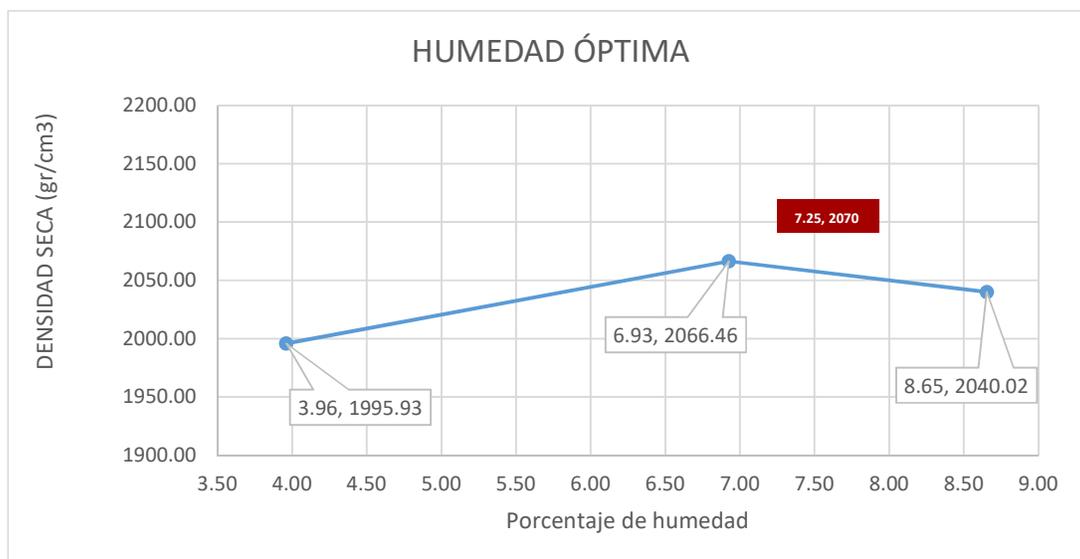
% H real	% Aparente	Cant Agua (cm3)	
6,49	0	0	0
9,49	3	135,85	140
12,49	6	178,79	180
15,49	9	221,72	225
18,49	12	264,65	270
21,49	15	307,58	310
24,49	18	350,52	355
27,49	21	393,45	400
30,49	24	436,38	440
33,49	27	479,31	480
36,49	30	522,25	525
39,49	31	565,18	570

En esta sección, el objetivo de este estudio, es determinar la humedad óptima y su densidad máxima, para cada punto porcentual, para el cual, el contenido de agua es una pieza clave durante el proceso, por lo que se calculó nuevamente éste mismo. Ocupando las cantidades de 180 cm³, 310 cm³ y 480 cm³, como se observa en la Tabla 65.

Tabla 66 Resultado Final del Porcentaje de Humedad y Densidad Seca Real. Escoria al 20%

% H real	δs (kg/m³)
3,96	1995,93
6,93	2066,46
8,65	2040,02

Ilustración 29 Gráfica Resultado de Humedad Óptima. Escoria al 20%



Se observa los resultados de la densidad seca real vs porcentaje de humedad. Se obtuvo una humedad óptima, según la Ilustración 29, cuyo resultado es el de 7.25 % con una densidad máxima de 2070 kg/m³.

Porcentaje del 25%

Tabla 67 Proporción de Agregados con adición de Escoria al 25 % del Ag. Fino

Cant. Ag. Grueso =	14162,5	gr
Cant. Ag. Fino =	5428,5	gr
Cant. Total Muestra =	19591	gr
% Ag. Grueso =	72,29	%
% Ag. Fino =	27,71	%
Muestra Ensayo =	5500	gr
Ag. Grueso =	3976,00	gr
Ag. Fino =	1143,00	gr

Ag Escoria 25% =	381,00	gr
------------------	--------	----

Se observa, en la Tabla 67, la clara distribución de agregados gruesos, finos y la adición de la escoria negra de acero, en su porcentaje de 20%, que se usó durante el ensayo.

Tabla 68 Cantidad de Agua usada en el ensayo con Escoria al 20% del Ag. Fino

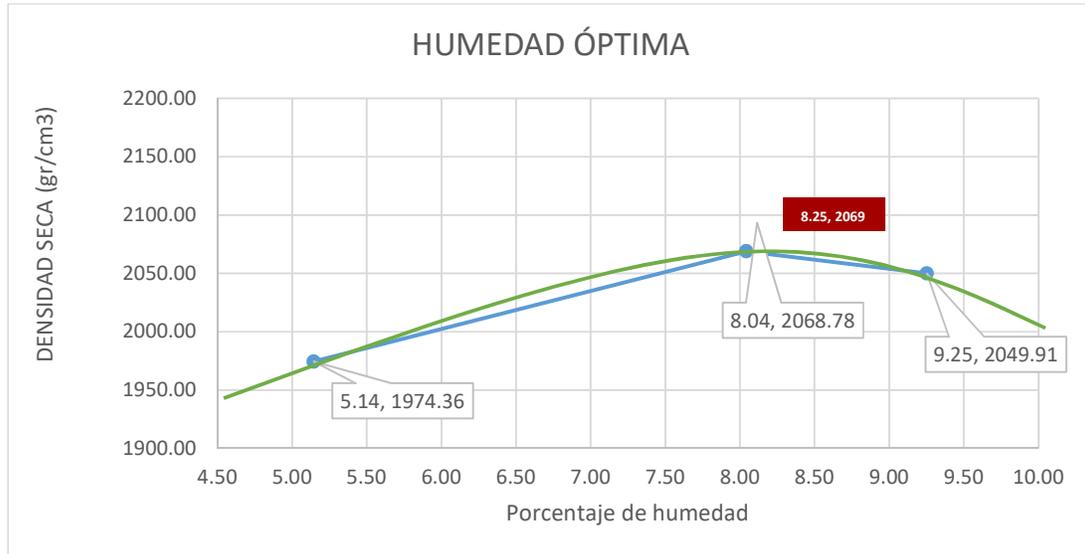
% H real	% Aparente	Cant Agua (cm3)	
5,52	0	0	0
8,52	3	123,11	125
11,52	6	166,43	170
14,52	9	209,76	210
17,52	12	253,09	255
20,52	15	296,41	300
23,52	18	339,74	340
26,52	21	383,07	390
29,52	24	426,39	430
32,52	27	469,72	475
35,52	30	513,05	515
38,52	31	556,37	560

En esta sección, el objetivo de este estudio, es determinar la humedad óptima y su densidad máxima, para cada punto porcentual, para el cual, el contenido de agua es una pieza clave durante el proceso, por lo que se calculó nuevamente los valores, ocupando las cantidades de 210 cm³, 340 cm³ y 475 cm³, como se observa en la Tabla 68.

Tabla 69 Resultado Final del Porcentaje de Humedad y Densidad Seca Real. Escoria al 25%

% H real	δs (kg/m3)
5,14	1974,36
8,04	2068,78
9,25	2049,91

Ilustración 30 Gráfica Resultado de Humedad Óptima. Escoria al 25%



Se identifica, en los resultados finales del ensayo, una humedad óptima, según la Ilustración 30, cuyo resultado es el de 8.25 % con una densidad máxima de 2069 kg/m³.

CBR:

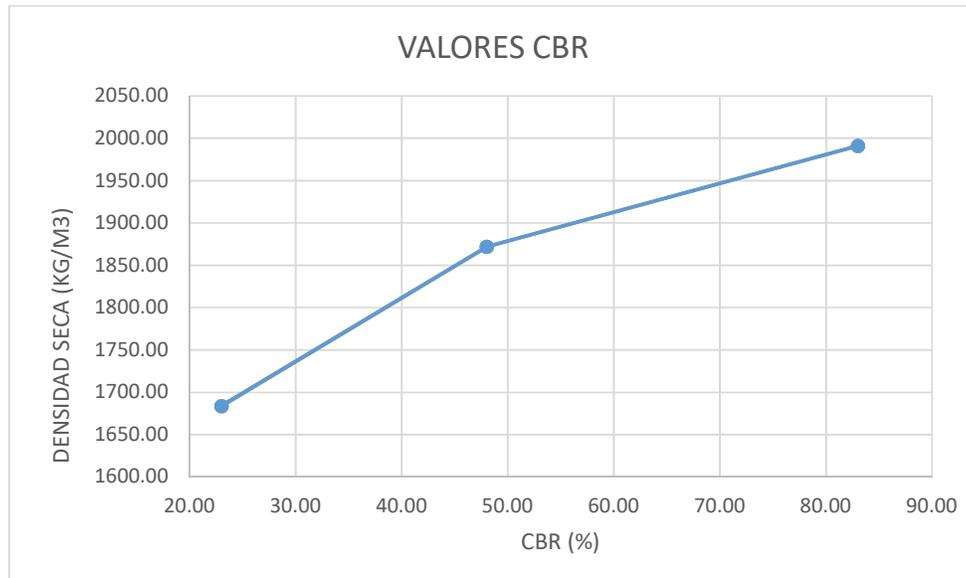
Se consideró la misma distribución de los agregados gruesos y finos, junto con su porcentaje de adición de escoria de acero, mostrados en las tablas 55, 58, 61, 64 y 68, correspondientes al 5%, 10%, 15%, 20% y 25# respectivamente. Además, también, se consideró, utilizar la misma cantidad de agua calculado, en función del ensayo Proctor Modificado y CBR, de la cual se obtiene la humedad óptima, de la base sin modificación, como se aprecia en la Tabla 68.

Porcentaje del 5%:

Tabla 70 Resultado Final de Valor CBR y Densidad Seca Real. Escoria al 5% de Ag. Finos

CBR	δ_s (kg/m ³)
23,00	1683,68
48,00	1871,91
83,00	1991,05

Ilustración 31 Gráfica Final CBR. Densidad Seca vs CBR. Escoria al 5% de Ag. Finos



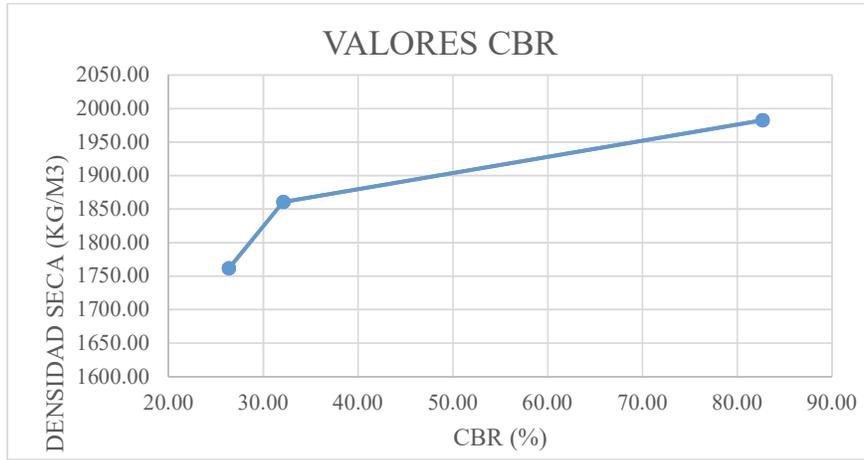
En el resultado final, que se aprecia en la Tabla 70 y la Ilustración 31, que el valor obtenido de CBR al 100% de compactación es de 83.00%, lo que también cumple como requisito para ser determinado como base granular.

Porcentaje del 10%

Tabla 71 Resultado Final de Valor CBR y Densidad Seca Real. Escoria al 10% de Ag. Finos

CBR	δ_s (kg/m ³)
26,33	1761,43
32,10	1860,69
82,67	1982,56

Ilustración 32 Gráfica Final CBR. Densidad Seca vs CBR. Escoria al 10% de Ag. Finos



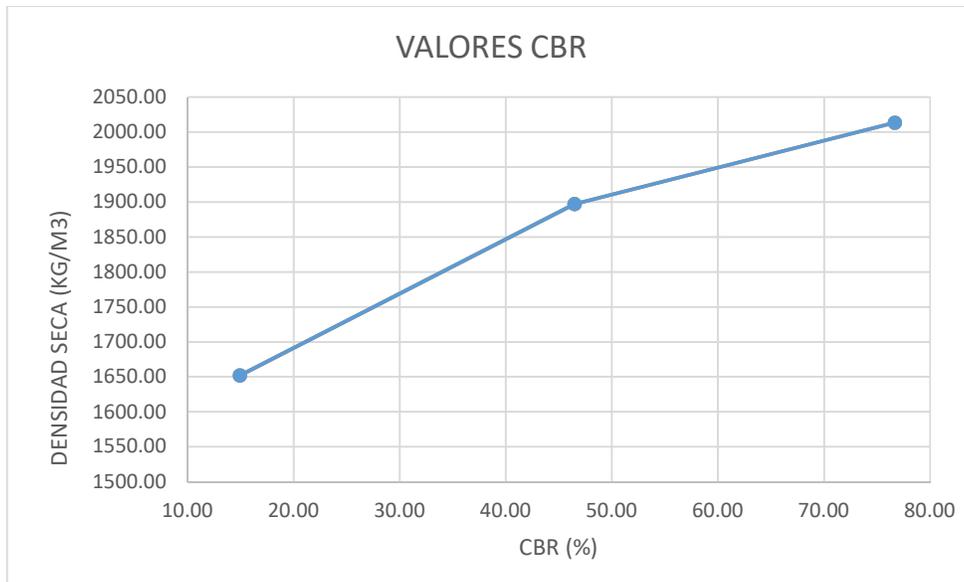
En el resultado final, que se aprecia en la Tabla 71 y la Ilustración 32, que el valor obtenido de CBR al 100% de compactación es de 82.67%, lo que también cumple como requisito para ser determinado como base granular.

Porcentaje del 15%

Tabla 72 Resultado Final de Valor CBR y Densidad Seca Real. Escoria al 15% de Ag. Finos

CBR	δ_s (kg/m ³)
14,92	1651,87
46,46	1896,81
76,67	2013,39

Ilustración 33 Gráfica Final CBR. Densidad Seca vs CBR. Escoria al 20% de Ag. Finos



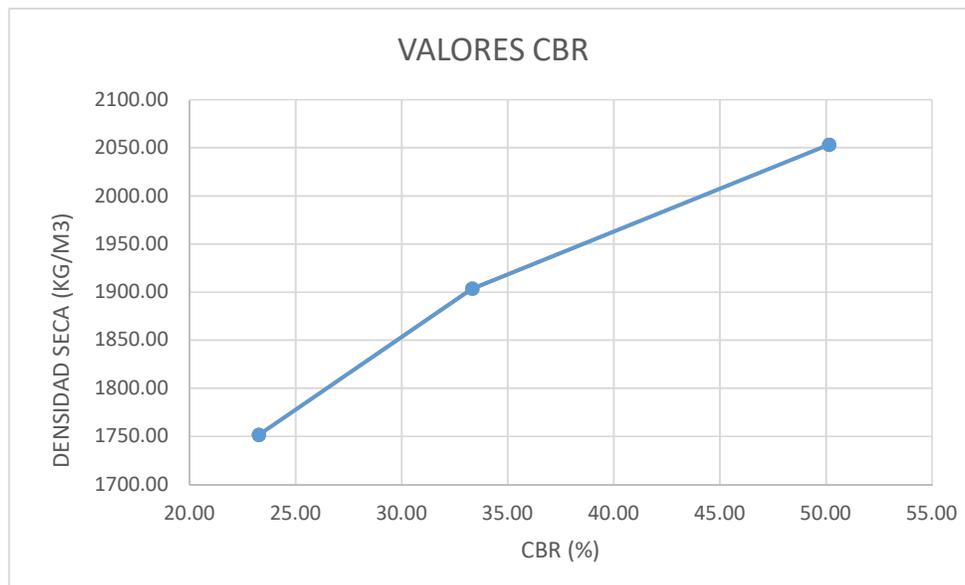
En el resultado final, que se aprecia en la Tabla 72 y la Ilustración 33, que el valor obtenido de CBR al 100% de compactación es de 76.67%. Este valor, ya no cumple como requisito para ser considerado como base granular.

Porcentaje del 20%

Tabla 73 Resultado Final de Valor CBR y Densidad Seca Real. Escoria al 20% de Ag. Finos

CBR	δ_s (kg/m ³)
23,26	1751,51
33,33	1903,69
50,14	2053,28

Ilustración 34 Gráfica Final CBR. Densidad Seca vs CBR. Escoria al 20% de Ag. Finos



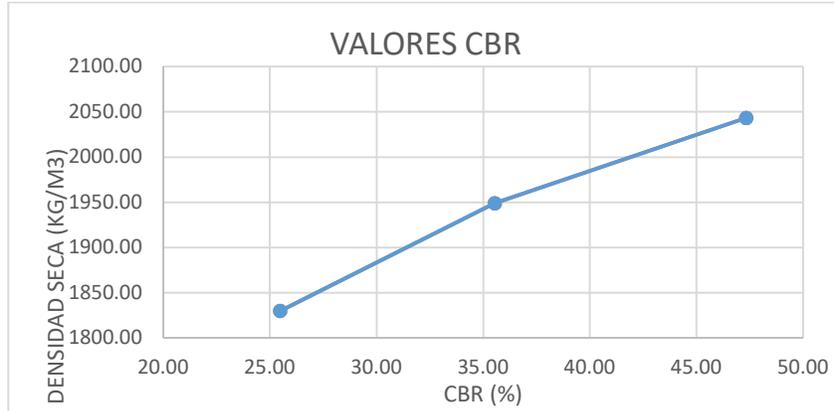
En el resultado final, que se aprecia en la Tabla 73 y la Ilustración 34, que el valor obtenido de CBR al 100% de compactación es de 50.14%. Se presentó una clara disminución en el valor que denota su resistencia al esfuerzo cortante. Ya no se considera como buena opción de adición de escoria de acero.

Porcentaje del 25%

Tabla 74 Resultado Final de Valor CBR y Densidad Seca Real. Escoria al 25% de Ag. Finos

CBR	δ_s (kg/m ³)
25,47	1829,75
35,54	1948,79
47,32	2043,15

Ilustración 35 Gráfica Final CBR. Densidad Seca vs CBR. Escoria al 25% de Ag. Finos



En el resultado final, que se aprecia en la Tabla 74 y la Ilustración 35, que el valor obtenido de CBR al 100% de compactación es de 47.32%. El valor obtenido, continúa disminuyendo, por lo que la proporción máxima, sugerida en esta investigación, ya no es favorable para la adición en una base granular.

4.4.8. Comparación:

En esta sección del proyecto de investigación, se procederá a comparar los resultados de cada ensayo relevante, que pretenda demostrar la hipótesis acerca del efecto que causa la presencia y combinación de la escoria negra de alto horno, en las propiedades normales de una base granular.

Granulometría:

Dentro del análisis del ensayo de Granulometría, se destaca la utilización de un porcentaje intermedio, determinado anteriormente (**Sección 4.3.1**), de adición de escoria de acero, con el objetivo de su análisis y comparativa, con la finalidad de identificar si existe una variación significativa o no, para limitar el estudio y tiempo en este ensayo.

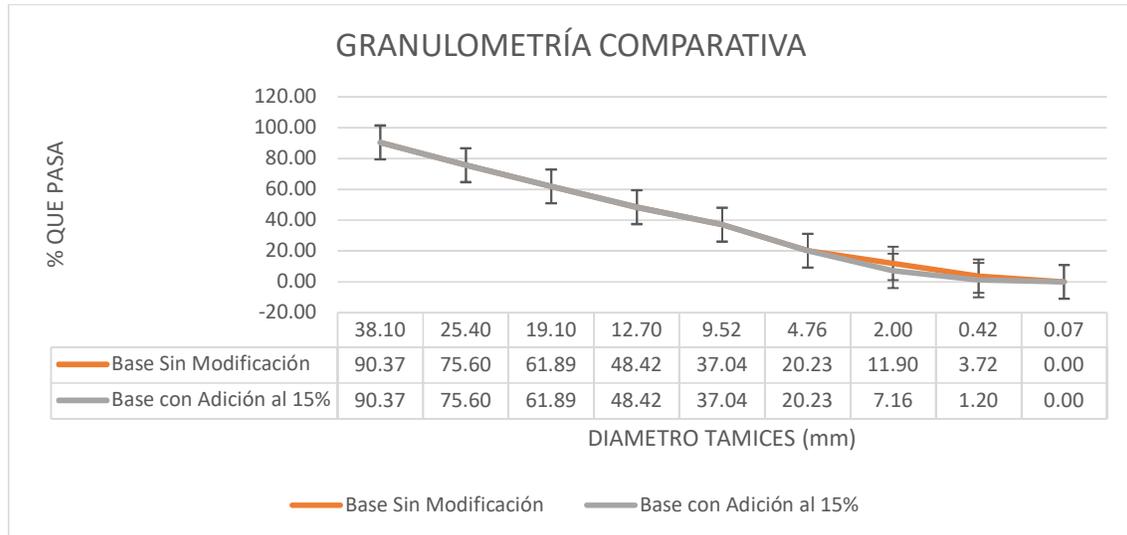
Tabla 75 Resultados Granulometría para Bases con y sin adición de Escoria de Acero Negra

BASE SIN MODIFICACIÓN			BASE CON ESCORIA AL 15% DE ADICIÓN		
#Tamiz	Diametro (mm)	%Pasa	#Tamiz	Diametro (mm)	%Pasa
1 1/2	38,1	90,37	1 1/2	38,1	90,37
1	25,4	75,60	1	25,4	75,60
3/4	19,1	61,89	3/4	19,1	61,89
1/2	12,7	48,42	1/2	12,7	48,42

3/8	9,52	37,04	3/8	9,52	37,04
#4	4,76	20,23	#4	4,76	20,23
#10	2	11,90	#10	2	7,16
#40	0,42	3,72	#40	0,42	1,20
#200	0,074	0,00	#200	0,074	0,00
FONDO	-		FONDO	-	

Como se puede apreciar en la Tabla 75, se realizó el ensayo granulométrico implementando el 15% de escoria negra dentro de la proporción fina, donde, la diferencia más notable entre los resultados de una base sin modificar y otra modificada, se encuentra en los porcentajes que pasan los tamices designados para agregados finos. Por ende, al graficar estos resultados, obtenemos la curva granulométrica, que, comparando los resultados, se aprecia una leve variación mientras más se acerca a los diámetros de los tamices de aberturas más pequeñas, según la Ilustración 36.

Ilustración 36 Gráfica Comparativa de Granulometrías Obtenidas



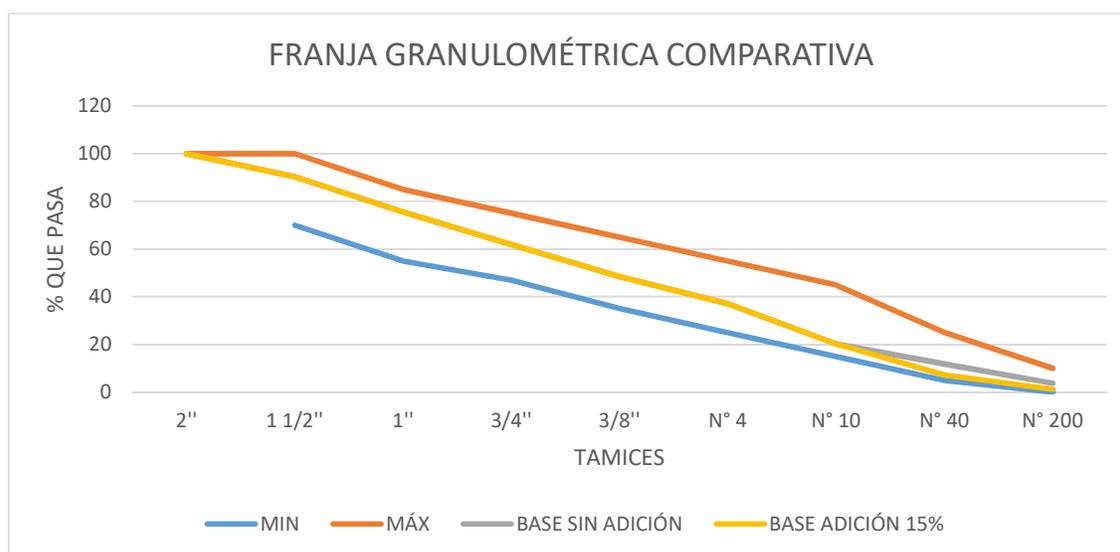
Por lo que se infiere, una variación mínima en la distribución o textura de la base granular, el cual, no representa ningún efecto relevante dentro de la estructura granular. Además, se concluye que, no es necesario seguir aumentando o disminuyendo la presencia de escoria de siderurgia, debido a su pobre impacto que tiene dentro de su repartición en la muestra total.

Tabla 76 Granulometría Clase I-B resultados para Franja Granulométrica.

TAMICES	MIN	MAX	BASE SIN ADICIÓN	BASE ESCORIA 15%
2"		100	100	100

1 1/2"	70	100	90,37	90,37
1"	55	85	75,60	75,60
3/4"	47	75	61,89	61,89
3/8"	35	65	48,42	48,42
N° 4	25	55	37,04	37,04
N° 10	15	45	20,23	20,23
N° 40	5	25	11,90	7,16
N° 200	0	10	3,72	1,20

Ilustración 37 Comparativa de Franjas Granulométricas



De igual forma, se analizó si existe algún cambio representativo dentro de la franja granulométrica para una base clase 1-B, y se finiquita en que no se evidencia ningún cambio importante.

Límites de Atterberg:

Siguiendo la misma directriz que el ensayo anterior, se toma un valor porcentual intermedio (15%) y extremo (25%), para su análisis y comparación de una base normal o sin modificación.

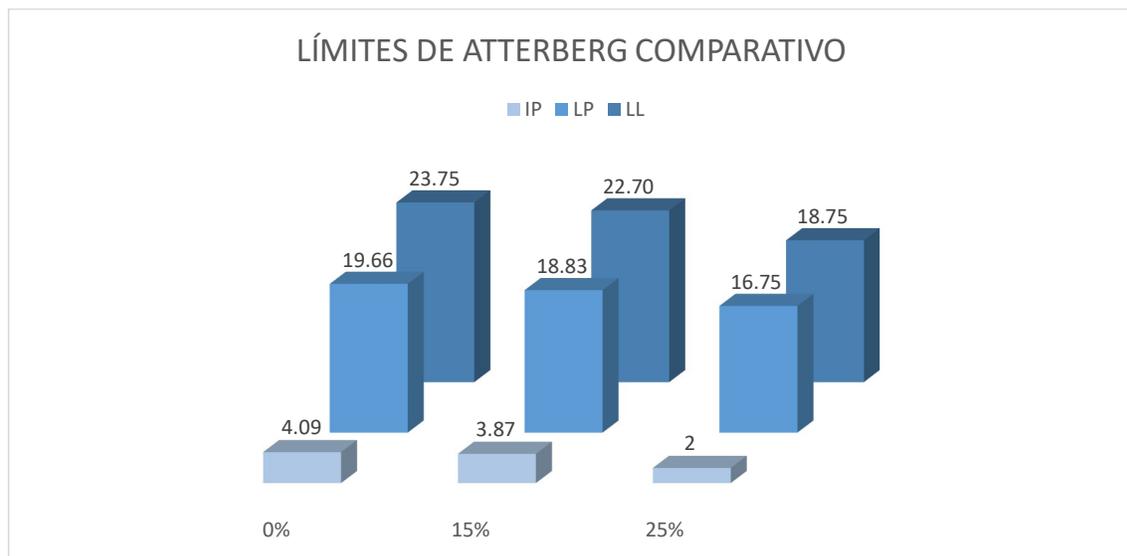
Tabla 77 Resultados Finales del Ensayo de Límites de Atterberg

TIPO	PORCENTAJE		
	0%	15%	25%
LL	23,75	22,70	18,75
LP	19,66	18,83	16,75
IP	4,09	3,87	2

Según la Tabla 77, se infiere que la presencia de la escoria negra de alto horno en la parte final de una base granular, afecta al material disminuyendo su capacidad o propiedad plástica mientras más alto es el porcentaje de adición.

Por lo que se tiene una diferencia de hasta un 2% aproximadamente entre los resultados de una base y con la implementación del 25% de escoria negra, yéndonos a un extremo, como se puede apreciar en la Ilustración 38. Estos resultados, sigue cumpliendo los requisitos establecidos para bases granulares establecidos por las normativas mas no es recomendable que el valor sea cercano a cero, ya que disminuye la capacidad de cohesión de los áridos, provocando fragmentaciones y disgregaciones del material granular en obra.

Ilustración 38 Gráfica Comparativa de los Límites de Atterberg



Clasificación del Suelo:

Debido a que, dentro del ensayo granulométrico y de los límites de Atterberg, no representa variaciones o perturbaciones importante en sus resultados, se concluye que presenta la misma clasificación de suelos como se puede apreciar en la Tabla 78, por el método AASHTO, y la Tabla 79, por el método SUCS.

Tabla 78 Clasificación del Suelo por el Método AASHTO

MÉTODO AASHTO

Según la clasificación de suelos por el método AASHTO, haciendo uso de los valores calculados de la granulometría, LL, LP e IP, se tiene lo siguiente:

Pertenece al grupo A-1 (A-1-a), dentro de Cantos, grava y arena. Por lo que es un material clasificado como Excelente a bueno

Tabla 79 Clasificación del Suelo por el Método SUCS para Agregados Finos

MÉTODO SUCS para suelo Finos

Según la clasificación de suelos por el método SUCS para agregados finos, haciendo uso de los valores calculados de la granulometría LL y LP, se tiene lo siguiente:

**GRAVA BIEN GRADUADA CON ARENA GW:
Suelo de partículas gruesas. Suelo limpio**

Proctor Modificado:

Dentro de la ejecución de este ensayo, se tomó como directriz, la realización completa y análisis de los resultados de cada porcentaje de adición de escoria negra de alto horno, debido a que las cantidades o proporciones de agregados finos, gruesos y agua, varían por efectos de sus cálculos.

Tabla 80 Resultados de los Ensayos Generales de Proctor Modificado

PORCENTAJE	%H opt	Densidad (kg/m3)
0%	8,9	2190
5%	6,60	2120
10%	6,5	2090
15%	5,8	2075
20%	7,25	2070
25%	8,25	2069

Según los resultados, evidenciados en la Tabla 80 y la Ilustración 39, se aprecia un descenso de los valores obtenidos, para los valores de la densidad seca máxima. Esto se traduce, en el problema antes mencionado, referente a la pérdida de cohesión en la estructura de la base, por la presencia de la escoria negra, ya que, presentó problemas para mantenerse compactado, a la disminución de las características plásticas.

Para los resultados de la humedad óptima máxima, Ilustración 40, se concluye una tendencia descendente, al llegar al 15% de adición de escoria negra, y una tendencia ascendente, mientras aumenta la cantidad del material añadido hasta el 25%, esto se ve reflejado en la cantidad de agua empleada por cada porcentaje de adición y la que se encuentra presente como humedad natural del suelo. Es decir, hubo cierta variación de humedad natural en las muestras separadas de la base sin modificar.

Ilustración 39 Porcentaje de Humedad Óptima Comparativa

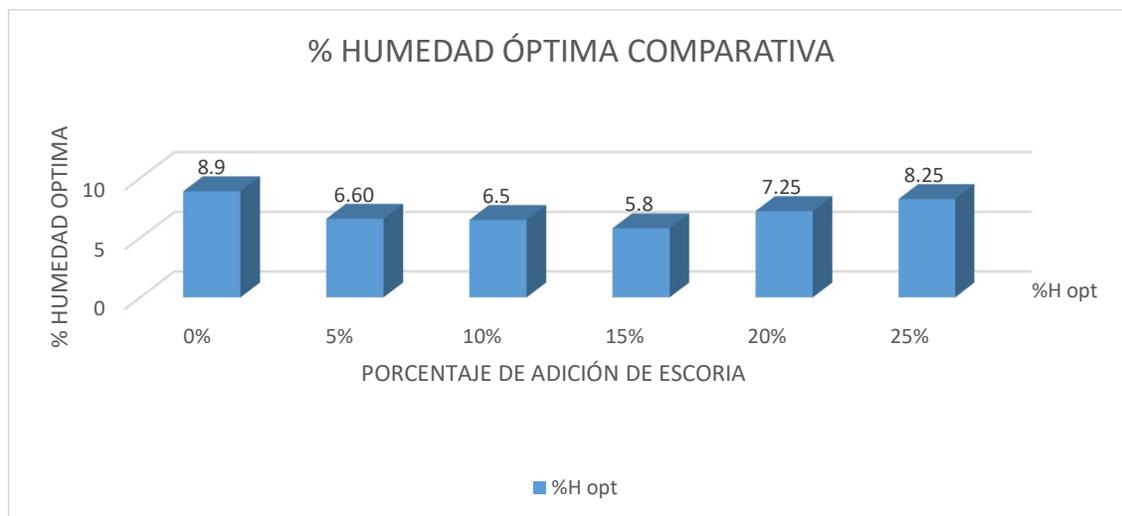
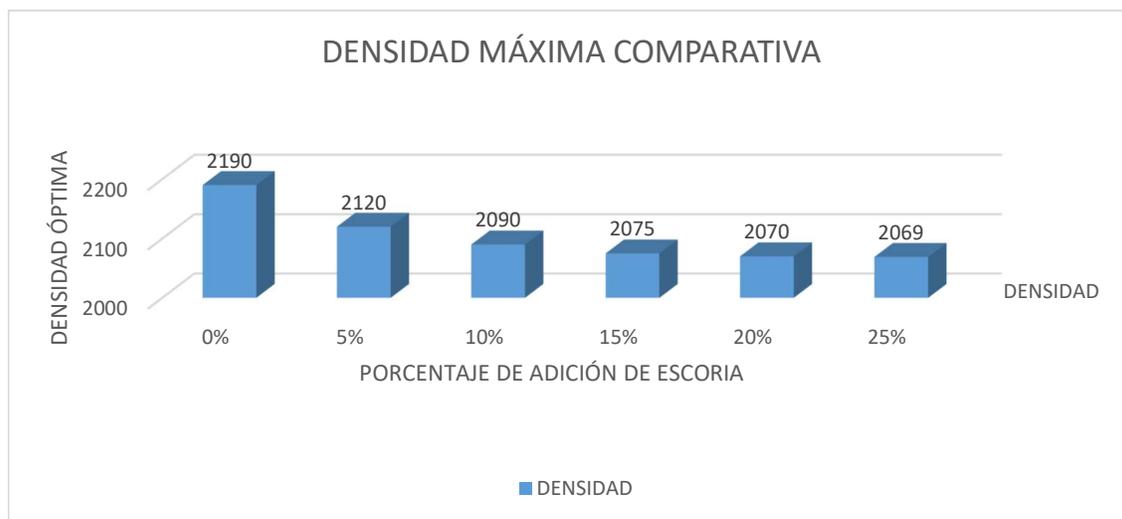


Ilustración 40 Densidad Máxima Comparativa.



CBR:

Tabla 81 Resultados Generales del Ensayo CBR.

PORCENTAJE	Densidad (kg/m ³)	CBR
0%	2123,6	85,33
5%	1991,05	83
10%	1982,56	82,67
15%	2013,39	76,67
20%	2053,28	50,14
25%	2043,15	47,32

En este ensayo, los resultados, en este caso, fueron un poco diversos, con respecto a la densidad seca calculada, Ilustración 41, donde se justifica los principales factores como la

cantidad de agua, humedad, peso seco y el índice de plasticidad. Por otra parte, está claro un descenso significativo en los valores CBR, Ilustración 42, donde solo los valores de 0%, 5% y 10%, cumple con los requerimientos de la normativa (Tabla 12), para ser considerado como base granular, sin embargo, no es evidenciable algún aumento con referencia al valor obtenido sin adición de escoria negra de acero.

Ilustración 41 Densidad Óptima de CBR Comparativa

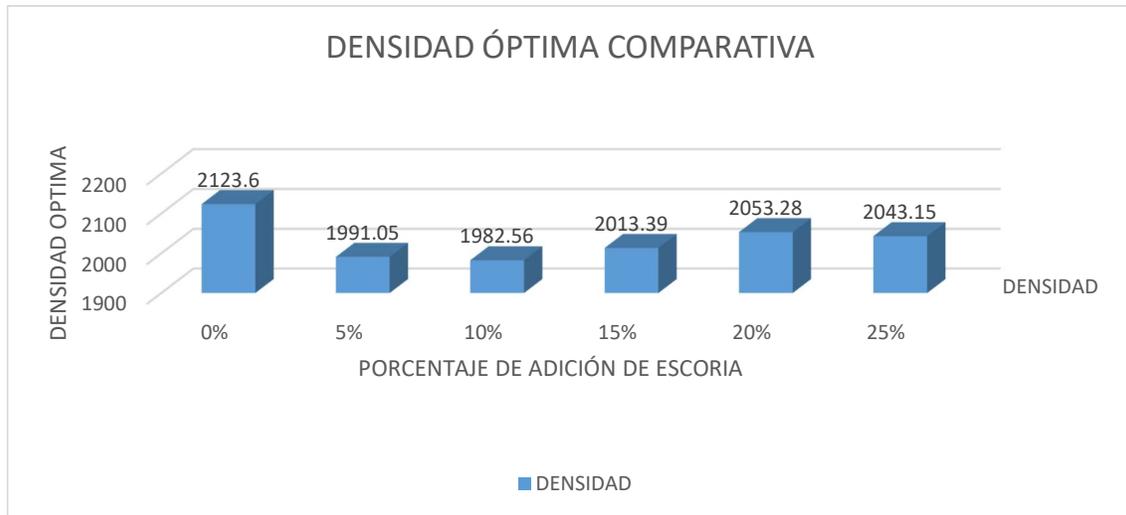
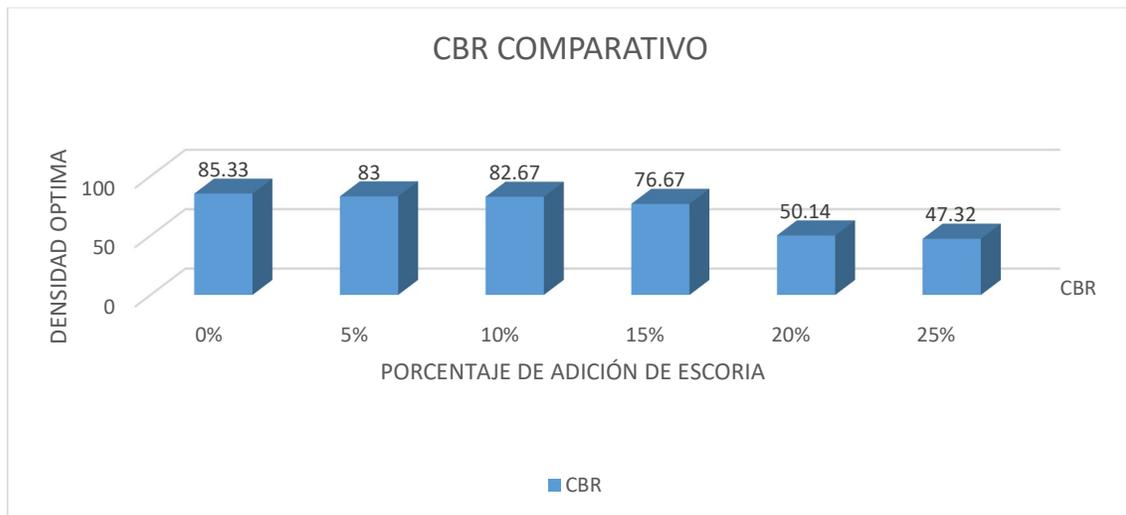


Ilustración 42 Valores Comparativos CBR de una Base Modificada y Sin Modificar



4.4.9. Comparación para 1 m³ de Pavimento:

Según las especificaciones técnicas de una base granular, proporcionado por (HOLCIM ECUADOR SA), se extrae la siguiente tabla de datos técnicos relevantes para el análisis y comparación de este proyecto de investigación:

Tabla 82 Ficha técnica de materiales granulares para vías

Propiedades	Base Clase 1 (0 – 37,5 mm)
Densidad (kg/m ³)	2597
Masa Unitaria Suelta (kg/m ³)	1583
Masa Unitaria Compactada (kg/m ³)	1827

Fuente: HOLCIM ECUADOR S.A.

Tomando en cuenta los porcentajes de escoria de acero, de la tabla 81, que, aunque disminuye su CBR en comparación de los valores iniciales sin modificación; y las tablas 55 y 58, que hacen referencia a la distribución de los agregados en “gr”, continúa cumpliendo con los requisitos la presencia del 5% y 10% del residuo siderúrgico. Por lo que se considera lo siguiente:

Tabla 83 Dsistribución de Pesos de Escoria en 5% y 10%

Porcentaje (%)	5	10
Agregado Grueso (gr)	3976	3976
Agregado Fino (gr)	1447.80	1371.6
Escoria Negra (gr)	76.20	152.40
Total	5500	5500

Debido a que, el reemplazo del material de adición, se encuentra dentro de la proporción fina (27.71%) de una muestra de 5500 gr base granular. Realizamos el siguiente cálculo para determinar el porcentaje presente en 1 m³ de base para pavimento:

$$Peso Escoria (gr/m3) = \frac{Masa Unitaria Suelta \left(\frac{gr}{m3}\right) * Peso Escoria 5\% (gr)}{Cantidad Total Ensayos (gr)}$$

$$P_{escoria 5\%} = 21931.75 \text{ gr/m3}$$

$$P_{escoria 10\%} = 43863,50 \text{ gr/m3}$$

$$Porcentaje Escoria = \frac{Peso Escoria (gr/m3) * 100\%}{Masa Unitaria Suelta \left(\frac{gr}{m3}\right)}$$

$$\%_{escoria 5\%} = 1.39 \%$$

$$\%_{escoria 10\%} = 2.77 \%$$

5. CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES:

- En los resultados obtenidos del ensayo para determinar el índice de plasticidad, se concluye que la presencia de escoria de acero, disminuye hasta un 2% el IP.
- La escoria como tal, al ser un subproducto de las etapas de producción del hierro y acero, es de difícil obtención para su ocupación en obras civiles, por lo que es un material poco común para su uso. Por esta razón, es difícil aplicarlo en obras de construcción de magnitud, sin embargo, obteniendo un acuerdo comercial o de negocios, con empresas productoras de escoria de acero, como ANDEC S.A, es factible realizar obras viales o de construcción.
- La densidad de compactación obtenida, de la base sin modificar, fue de 2190 kg/m³, donde, en comparación con la base modificada con adición de la escoria negra, presentó valores de 2120 kg/m³, 2090 kg/m³, 2075 kg/m³, 2070 kg/m³, 2069 kg/m³, lo que representa la disminución del 3.19%, 4.57%, 5.25%, 5.47%, 5.53%, para los porcentajes de adición de escoria de 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, respectivamente.
- Los valores CBR obtenidos de la base sin modificar, fue de 85.33%, donde, en comparación con la base modificada con adición de la escoria negra, presentó valores de 83%, 82.67%, 76.67%, 50.14% y 47.32%, lo que representa la disminución 3.12%, 10.15%, 41.24% y 44.54%, para los porcentajes de adición de escoria de 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, respectivamente.
- Durante la elaboración del ensayo Proctor Modificado y CBR, se infiere la evidencia de poca cohesión entre los elementos granulares mezclados (base y escoria negra), durante la manipulación en el desarrollo de los ensayos, debido a su observable disgregación después de la compactación.
- En conclusión, el uso de escoria de acero negra, no es recomendable para servir como elemento granular dentro de bases para pavimentos, debido a su poca plasticidad y cohesión que presenta, lo que no permite una buena densidad y resistencia del pavimento, cuyo efecto en las características y propiedades de una base, tiende a ser negativas dependiendo de cada una.

5.2. RECOMENDACIONES:

- Es importante tener una correcta planificación de un cronograma de actividades, para llevar a cabo el desarrollo de actividades dentro de un proyecto de investigación, ya que mejora la organización, ejecución y previene contratiempos que podría suceder.
- Para proyectos de esta índole, es necesario desarrollar los ensayos, en laboratorios capaces y equipados, que den resultados confiables y seguros. Se recomienda identificar y separar correctamente los materiales y equipos, en los espacios del laboratorio asignado.
- Se recomienda mantener el stock material para los ensayos a temperatura ambiente, sin presencia de agua, para evitar alterar la muestra y obtener resultados coherentes y confiables.
- Para futuras investigaciones se recomienda recabar información preliminar de estudios similares de mezclas con diferentes materiales para prever la adición de más de un material que pretenda mejorar a elementos de construcción, como en este caso la base, los cuales pueden ser cemento y escoria de acero, llantas recicladas y cal, emulsiones asfálticas y fibra de vidrio, entre otros.

5.3. BIBLIOGRAFÍA:

5.3.1. Bibliografía:

- Acosta, J., & Villarraga, C. (2018). *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*. UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ CALDAS.
- ANDEC. (s.f.). *ANDEC FUERZA INTERIOR*. <https://www.andec.com.ec/nuestra-historia/>
- Astorgano, P. (2020). *ANÁLISIS DE LAS POSIBILIDADES DE VALORIZACIÓN DE LA ESCORIA NEGRA DE HORNO DE ARCO ELÉCTRICO EN LA COMUNIDAD AUTÓNOMA DEL PAÍS VASCO*. UNIVERSIDAD DEL PAÍS VASCO ESCUELA DE INGENIERÍA DE BILBAO.
- Auqui, J., & Ramírez, D. (2019). *ELABORACIÓN DE UNA "GUÍA PRÁCTICA PARA EL DISEÑO ESTRUCTURAL DE CARRETERAS"*. QUITO: UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE QUITO.
- Cal y Mayor, R., & Cárdenas, J. (2007). *Ingeniería de Tránsito. Fundamentos y aplicaciones*. México: Alfaomega.
- Calsina, N. (2017). *ENSAYO PROCTOR MODIFICADO AL MATERIAL DE CAPA BASE DE LA CARRETERA CRUCE CUARTEL AVICHACA CRUCE CALA CALA EN LAS PROGRESIVAS 2+000 HASTA 2+500*. LA PAZ: UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS.
- Cruz, C., & Yauri, J. (2020). *Propiedades mecánicas de una base granular incorporando escoria de acero mediante el ensayo CBR*. UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO FACULTAD DE INGENIERÍA.
- CUENCA, M. (s.f.). *ESPECIFICACIONES TÉCNICAS*. CUENCA MUNICIPALIDAD.
- d. (s.f.).
- Enriquez, A., & Cremona, V. (2019). *LA IMPORTANCIA DE ANALIZAR EL SUELO EL ANÁLISIS DE GRANULOMETRÍA Y EL EFECTO DE LA CENICA VOLCÁNICA*. Presencia.
- Fernandez, E., & Velásquez, A. (2020). *ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA DE UNA BASE GRANULAR REEMPLAZANDO SU MATERIAL FINO POR CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ*. CUNDINAMARCA: UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA SECCIONAL ALTO MAGDALENA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL GIRARDOT.
- Figuroa, I., & Manani, C. (2019). *Diseño de carreteras afirmadas en base a escorias negras, provenientes de la planta de aceros Arequipa de Pisco, para zonas rurales*. Lima: UNIVERSIDAD PERIANA DE CIENCIAS APLICADAS.

- Flores, C. (2019). *Correlación de la distribución de partículas mediante el proceso de fragmentación de la Resistencia a la Compresión Simple de Rocas*. CUENCA: UNIVERSIDAD DEL AZUAY.
- g. (s.f.).
- Góngora, O., Iriarte, A., & Mendoza, J. (2017). *ESTABILIZACIÓN Y MEJORAMIENTO DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LOS SUELOS A PARTIR DE MEZCLAS CON CAL Y ESCOMBROS DE MATERIAL DE CANALES DE RIEGO*. UNIVERSIDAD COOPERATIVA DE COLOMBIA.
- Gonzalez, M. (2011). *CARACTERIZACIÓN EXPERIMENTAL DE ESCORIAS NEGRAS DE ALTO HORNO*. UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CATALUÑA.
- Hernandez, R., Fernandez, C., & Baptista, P. (2017). *METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN*. Mc Graw Hill.
- HOLCIM ECUADOR SA. (s.f.). *FICHA TÉCNICA: MATERIAL GRANULAR PARA VÍAS*. GUAYAQUIL: HOLCIM.
- Jácome, K., & Paz, C. (2021). *COMPORTAMIENTO DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS TIBIAS UTILIZANDO RESIDUOS DE ACERO CON AGREGADOS DE LA MINA DE PIFO*. QUITO: PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR.
- López, G. (2020). *ENSAYOS DE COMPACTACIÓN EN CARRETERAS: PROCTOR NORMAL Y MODIFICADO*. UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA.
- Macías, D., & Torres, F. (2018). *FACTIBILIDAD DEL USO DE POLVILLO DEL ALTO HORNO PARA MEJORAR MATERIAL TIPO BASE GRANULAR*. UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA.
- Mendoza, M., & Guadarrama, J. (2008). *Bases y Subbases*. INSITUTO POLITÉCNICO NACIONAL ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA UNIDAD ZACATENCO.
- MTOP. (2002). *ESPECIFICACIONES GENERALES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE CAMINOS Y PUENTES*. QUITO: REPUBLICA DEL ECUADOR.
- NEVI-12. (2013). *VOLÚMEN N° 3 ESPECIFICACIONES GENERALES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE CAMINOS Y PUENTES*. QUITO: MINISTERIO DE TRANSPORTE Y OBRAS PÚBLICAS.
- Parra, L., & Sánchez, D. (2010). *Análisis de la valoración de escorias negras como material agregado para concreto en el marco de la gestión ambiental de la siderúrgica Diaco*. Universidad de La Salle.
- Romero, G. (2018). *INFORME FINAL ENSAYOS DE LABORATORIO. MECÁNICA DE SUELOS I*.
- S.A, A. (s.f.). *ANDEC FUERZA INTERIOR*. <https://www.andec.com.ec/nuestra-historia/>

- Saabedra, K., Chura, J., & Seyo, K. N. (2017). *DETERMINACIÓN DEL DESGASTE POR ABRASIÓN AL AGREGADO GRUESO EN LA CIUDAD DE COBIJA-PANDO*. Revista Área de Ciencias y Tecnología.
- Siclane, L. (2018). *Aplicación de escoria siderúrgica para rehabilitar pavimentos flexibles en el Distrito de la Victoria*. Lima: UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO.
- Sigifredo, L., & Carbajal, M. (2021). *Propuesta de mejoramiento de pavimento rígido usando fibras de acero en la Avenida Circunvalación-Distrito veintiseis de octubre - Piura, 2021*. UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO.
- Suárez, L. (2018). *EVALUACIÓN DE ESCORIAS SIDERÚRGICAS DE HORNO DE ARCO ELÉCTRICO EN MEZCLAS DE CONCRETO ESTRUCTURAL*. UNIVERSIDAD DE LOS ANDES.
- Tirado, C. (2019). *ANÁLISIS COMPARATIVO DEL USO DE ESCORIA DE SIDERURGIA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELO*. Ambato: UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO.
- Torres, C., Cubillos, A., & Calderón, N. (2017). *Escoria de acero para estabilizar base y sub-base de la estructura del pavimento*. Bogotá: UNIVERISDAD DE LA SALLE.
- Vélez, A. (2013). *HORMIGONES CON ESCORIA DE ACERO DE HORNO ELÉCTRICO PRESTACIONES MECÁNICAS, FÍSICAS Y QUÍMICAS*. UNIVERSIDAD DE CUENCA.

6. ANEXOS

6.1. ANEXO A: CARTA DE RECIBIMIENTO DE LA ESCORIA DE ACERO NEGRA

Viviana Peralta Marín

De: Verónica Aristega Valencia
Enviado el: martes, 20 de diciembre de 2022 11:33
Para: Karen Murillo Coque; Rodolfo Romero Herrera; Douglas Mora Matias
CC: Humberto Sotomayor Martinez; Jorge Pincay Paz; Seguridad Tres; Cesar Villavicencio Cabrera; María Hidalgo Vicuña; Sonia Hidalgo Murillo; Roberto Vargas Guevara; Viviana Peralta Marín; Alfredo Fonseca Cirino; Marcelo Oleas Unda
Asunto: GUÍA DE SALIDA/MUESTRA ESCORIA
Datos adjuntos: 2575_001.pdf

Estimados compañeros:
Solicito de su colaboración con una guía de salida según se detalla a continuación.

- 60kg escoria negra



Este material será trasladado hoy al CDC en trayer de placa # PPB-0729 conductor Santiago Ramirez sin retorno, de acuerdo a lo autorizado por el Ing. Humberto Sotomayor/Gerente de CMP. En CDC este material será retirado por la Universidad Católica de Cuenca/Felipe Ormaza para objeto de estudio.

Agradezco de su gentil colaboración.

Cordialmente,



Verónica Aristega V.
SUPERVISOR DE RECEPCIÓN Y CAPTACIÓN DE MATERIA PRIMA CDG
☎ 04 371 3590 Ext. 2976 ☎ 1800 263327
✉ varistega@andec.com.ec
www.andec.com.ec



6.2. ANEXO B: EVIDENCIA FOTOGRÁFICA







**6.3. ANEXO C: CÁLCULOS Y RESULTADOS DE ENSAYOS EN
BASE GRANULAR SIN MODIFICACIÓN.**

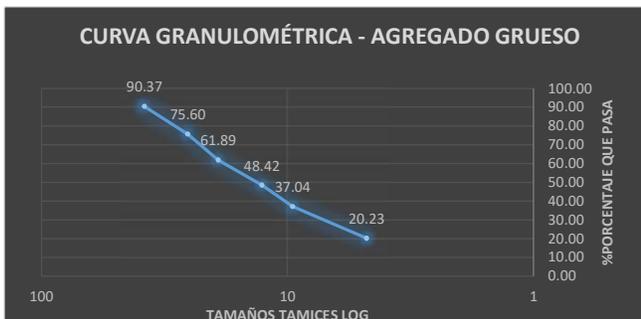
GRANULOMETRÍA

GRANULOMETRIA PARA AGREGADOS GRUESOS

Peso Muestra Original (gr) =	25833
%Humedad =	4.91

#Tamiz	Diametro (mm)	Cant. Ret	Cant. Ret. Acum	%Retenido	%Pasa
1 1/2	38.1	2463	2463	9.63	90.37
1	25.4	3777.5	6240.5	24.40	75.60
3/4	19.1	3507.5	9748	38.11	61.89
1/2	12.7	3446	13194	51.58	48.42
3/8	9.52	2910	16104	62.96	37.04
#4	4.76	4299	20403	79.77	20.23
FONDO	-	5428.5	25831.5	100.99	

Peso Muestra Total (gr) =	25577.44
Peso Seco Muestra (gr) =	5174.44



GRANULOMETRIA POR EL MÉTODO DE LOS FINOS

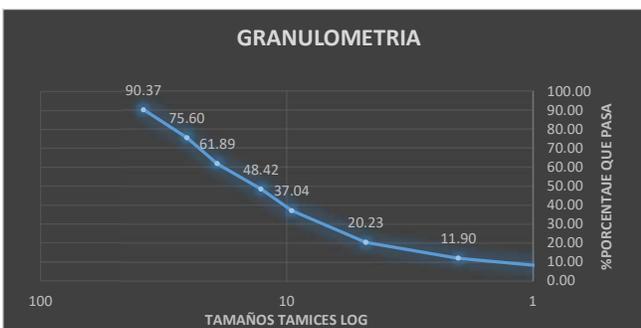
Peso Muestra Original (gr) =	500
Peso Muestra Seca (gr) =	405.50
%Humedad =	4.91

#Tamiz	Diametro (mm)	Cant. Ret	Cant. Ret. Acum	%Retenido	%Pasa
#10	2	167	167	88.10	11.90
#40	0.42	164	331	96.28	3.72
#200	0.074	68.5	399.5	99.70	0.30
FONDO	-	5.5	405		



GRANULOMETRIA

#Tamiz	Diametro (mm)	Cant. Ret	Cant. Ret. Acum	%Retenido	%Pasa
1 1/2	38.1	2463	2463	9.63	90.37
1	25.4	3777.5	6240.5	24.40	75.60
3/4	19.1	3507.5	9748	38.11	61.89
1/2	12.7	3446	13194	51.58	48.42
3/8	9.52	2910	16104	62.96	37.04
#4	4.76	4299	20403	79.77	20.23
PASANTE #4	-	5428.5	25831.5	100.99	
#10	2	167	167	88.10	11.90
#40	0.42	164	331	96.28	3.72
#200	0.074	68.5	399.5	99.70	0.00
FONDO	-	5.5	405		

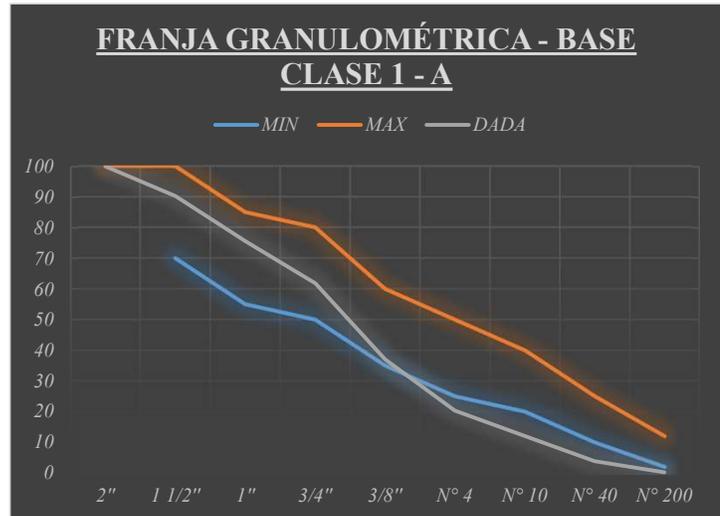


Porcentaje de Pérdida Permitido =	5%	1291.65	gr
$\%Perdida = Muestra\ Inicial * 0.05$			
Porcentaje de Pérdida Calculado =	1.5	25433.50	gr

FRANJAS GRANULOMÉTRICAS - BASES

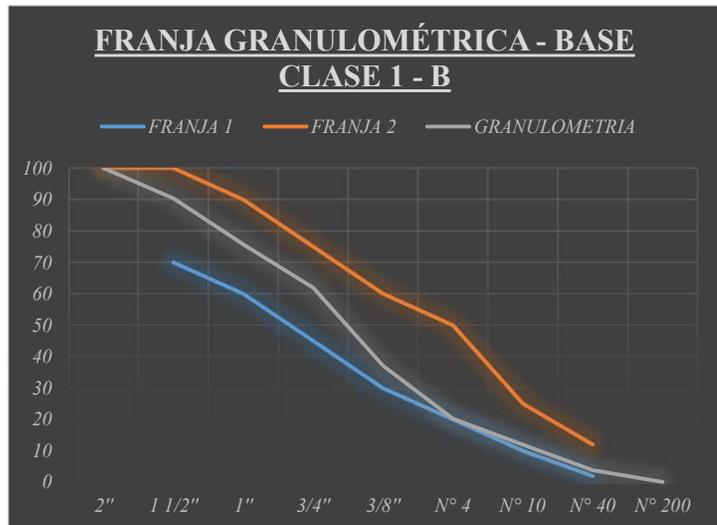
CLASE 1

TAMIZ		BASE CLASE 1 - A		
		MIN	MAX	DADA
2"	50 mm		100	100 SI
1 1/2"	37,5 mm	70	100	90.37 SI
1"	25 mm	55	85	75.60 NO
3/4"	19 mm	50	80	61.89 SI
3/8"	9,5 mm	35	60	37.04 NO
Nº 4	4,75 mm	25	50	20.23 NO
Nº 10	2 mm	20	40	11.90 NO
Nº 40	0,425 mm	10	25	3.72 NO
Nº 200	0,075 mm	2	12	0.00 SI



CLASE 1 - B

TAMIZ		BASE CLASE 1 - B		
		MIN	MAX	DADA
2"	50 mm		100	100 SI
1 1/2"	37,5 mm	70	100	90.37 SI
1"	25 mm	60	90	75.60 SI
3/4"	19 mm	45	75	61.89 SI
3/8"	9,5 mm	30	60	37.04 SI
Nº 4	4,75 mm	20	50	20.23 NO
Nº 10	2 mm	10	25	11.90 NO
Nº 40	0,425 mm	2	12	3.72 SI
Nº 200	0,075 mm			0.00



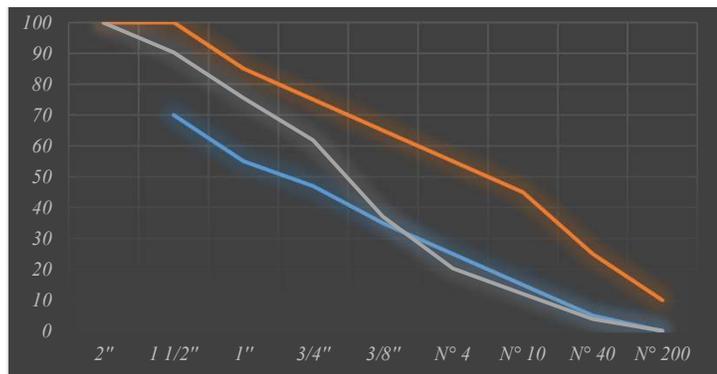
CLASE 2

FRANJA GRANULOMÉTRICA - BASE CLASE 2

— MIN — MAX — DADA

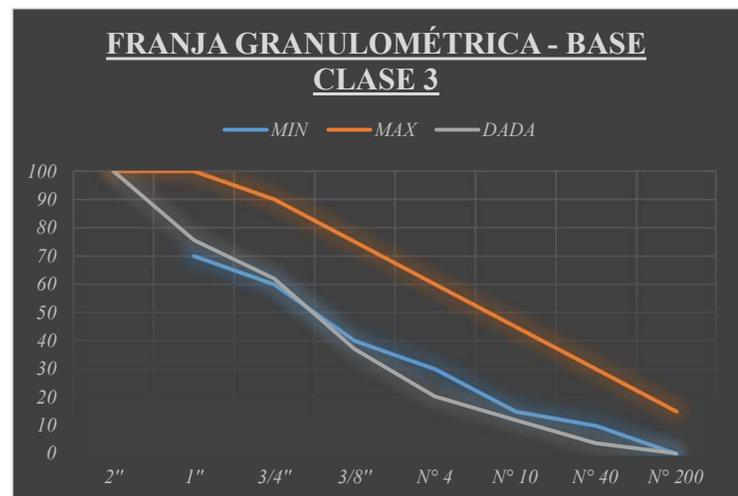
BASE CLASE 2

TAMIZ		BASE CLASE 2			
		MIN	MAX	DADA	
2"	50 mm		100	100	SI
1 1/2"	37,5 mm	70	100	90.37	SI
1"	25 mm	55	85	75.60	NO
3/4"	19 mm	47	75	61.89	SI
3/8"	9,5 mm	35	65	37.04	NO
Nº 4	4,75 mm	25	55	20.23	NO
Nº 10	2 mm	15	45	11.90	NO
Nº 40	0,425 mm	5	25	3.72	NO
Nº 200	0,075 mm	0	10	0.00	SI



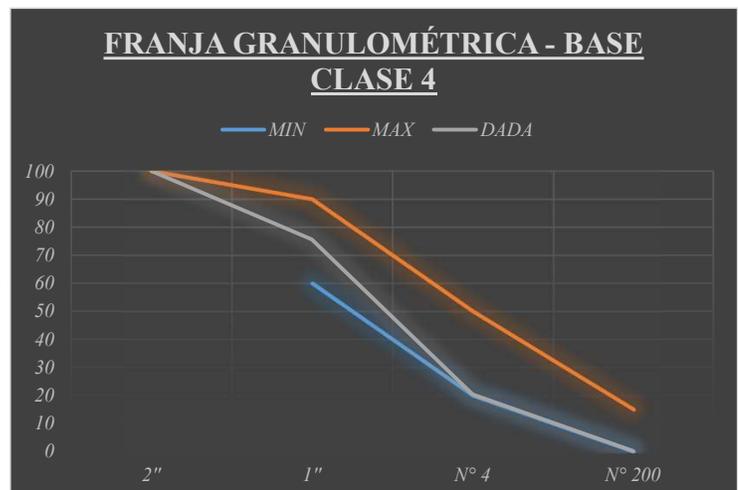
CLASE 3

TAMIZ		BASE CLASE 3			
		MIN	MAX	DADA	
2"	50 mm		100	100	SI
1"	25 mm	70	100	75.60	SI
3/4"	19 mm	60	90	61.89	SI
3/8"	9,5 mm	40	75	37.04	NO
Nº 4	4,75 mm	30	60	20.23	NO
Nº 10	2 mm	15	45	11.90	NO
Nº 40	0,425 mm	10	30	3.72	NO
Nº 200	0,075 mm	0	15	0.00	SI



CLASE 4

TAMIZ		BASE CLASE 4			
		MIN	MAX	DADA	
2"	50 mm		100	100	SI
1"	25 mm	60	90	75.60	SI
Nº 4	4,75 mm	20	50	20.23	NO
Nº 200	0,075 mm	0	15	0.00	SI



ABRASIÓN EN BASE

ABERTURA DE LOS TAMICES EN (mm)		Peso del material según el tipo de gradación (gr)	GRADACIÓN			
Pasante	Retenido		Tipo A	Tipo B	Tipo C	Tipo D
37.5	25	1250	1250±25	-----	'-----	'-----
25	19	1250	1250±25	-----	'-----	'-----
19	12.5	1250	1250±10	2500±10	'-----	'-----
12.5	9.5	1250	1250±10	2500±10	'-----	'-----
9.5	6.3		-----	'-----	2500±10	'-----
6.3	4.75		'-----	'-----	2500±10	'-----
4.75	2.36		'-----	'-----	'-----	5000±10
TOTAL		5000	5000±10	5000±10	5000±10	5000±10

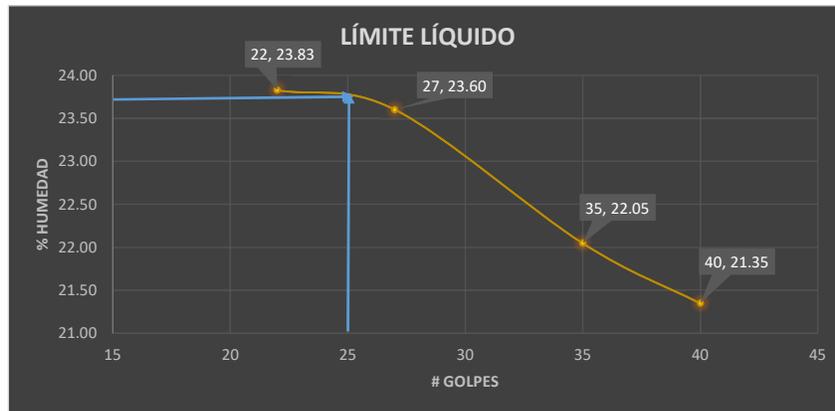
A: PESO DE LA MUESTRA TAMIZADA EN EL NUMERO 12 (gramos)	3634.5
B: PESO TOTAL DE LA MUESTRA SEGÚN LA GRADACIÓN (gramos)	5000

ABRASIÓN % =	$\frac{B-A}{B}$	*100 =	27.31%
--------------	-----------------	--------	--------

LÍMITES DE ATTERBERG

DETERMINACIÓN DE LÍMITE LÍQUIDO:

RECIPIENTE	59	A	31	S10	Unidad	FÓRMULAS
Peso Humedo + Tarro (Wh+T)	71.5	78.2	68.8	91.2		$Ws = (Ws + T) - Wt$
Peso Seco + Tarro (Ws+T)	66.75	73.63	63.95	86.12	gr	$Wa = (Wh + T) - (Ws + T)$
Peso Tarro (Wt)	44.5	52.9	43.4	64.8		
Peso Seco (Ws)	22.25	20.73	20.55	21.32		
Peso Agua (Wa)	4.75	4.57	4.85	5.08		
Porcentaje de Humedad (%H)	21.35	22.05	23.60	23.83	%	$\%H = \frac{(Wh + T) - (Ws + T)}{(Ws + T) - Wt} * 100$
Promedio de Porcentaje de Humedad (%Hprom)		22.71				$\%H_{prom} = \frac{(\sum \%H)}{\# muestras}$
# Golpes	40	35	27	22	u	



LÍMITE LÍQUIDO A LOS 25 GOLPES (%) = 23.75

DETERMINACIÓN DE LÍMITE PLÁSTICO:

RECIPIENTE	P8	P6	24	T08	Unidad	FÓRMULAS
Peso Humedo + Tarro (Wh+T)	12.24	12.27	44.92	36.6		$Ws = (Ws + T) - Wt$
Peso Seco + Tarro (Ws+T)	12	12.07	44.78	36.41	gr	$Wa = (Wh + T) - (Ws + T)$
Peso Tarro (Wt)	10.7	11	44.1	35.5		
Peso Seco (Ws)	1.3	1.07	0.68	0.91		
Peso Agua (Wa)	0.24	0.2	0.14	0.19		
Porcentaje de Humedad (%H)	18.46	18.69	20.59	20.88	%	$\%H = \frac{(Wh + T) - (Ws + T)}{(Ws + T) - Wt} * 100$
Promedio de Porcentaje de Humedad (%Hprom)		19.66				$\%H_{prom} = \frac{(\sum \%H)}{\# muestras}$

LÍMITE PLÁSTICO (%) = 19.66

DETERMINACIÓN DEL INDICE DE PLASTICIDAD

FORMULA

$$Ip = \text{Límite Líquido} - \text{Límite Plástico}$$

$$Ip = LL - LP$$

Ip (%) =

4.00

CLASIFICACIÓN DE SUELOS - MÉTODO AASHTO

Clasificación general	Materiales granulares (35% o menos pasa el tamiz #200)							Materiales limoarcillosos (más de 35% pasa el tamiz #200)			
Clasificación de grupo	A-1		A-3 ^A	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5 A-7-6
Tamizado, % que pasa	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				
No. 10 (2.00mm)	50 máx.	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
No. 40 (425µm)	30 máx.	50 máx.	51 mín.	...	...	...	...	...	...	...	...
No. 200 (75µm)	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 mín.	36 mín.	36 mín.
Consistencia											
Límite líquido	...	...	...	B				40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Índice de plasticidad	6 máx.		N.P.	B				10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín. ^B
Tipos de materiales característicos	Cantos, grava y arena		Arena fina	Grava y arena limoarcillosas				Suelos limosos		Suelos arcillosos	
Calificación	Excelente a bueno							Regular a malo			

^A La colocación de A3 antes de A2 en el proceso de eliminación de izquierda a derecha no necesariamente indica superioridad de A3 sobre A2.

^B El índice de plasticidad del subgrupo A-7-5 es igual o menor que LL-30. El índice de plasticidad del subgrupo A-7-6 es mayor que LL-30.

#Tamiz	Diametro (mm)	%Pasa
1 1/2	38.1	90.37
1	25.4	75.60
3/4	19.1	61.89
1/2	12.7	48.42
3/8	9.52	37.04
#4	4.76	20.23
PASANTE	-	
#4	-	
#10	2	11.90
#40	0.42	3.72
#200	0.074	0.00
FONDO	-	

Según la clasificación de suelos por el método AASHTO, haciendo uso de los valores calculados de la granulometría, LL, LP e IP, se tiene lo siguiente:

Pertenece al grupo A-1 (A-1-a), dentro de Cantos, grava y arena. Por lo que es un material clasificado como Excelente a bueno

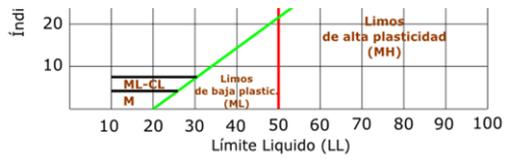
Gráfica de plasticidad del USCS



MÉTODO SUCS para suelo Finos

Según la clasificación de suelos por el método SUCS para agregados finos, haciendo uso de los valores calculados de la granulometría LL y LP, se tiene lo siguiente:

**GRAVA BIEN GRADUADA CON ARENA GW:
Suelo de partículas gruesas. Suelo limpio**



PROCTOR MODIFICADO

GRANULOMETRÍA

Tamiz #	Agregado Grueso	
	Diametro (mm)	Cant. Retenida (gr)
3/4	19.1	3507.5
1/2	12.7	3446
3/8	9.52	2910
#4	4.76	4299
Agregado Fino		
Pasante #4	-	5428.5

1) Proporción de Agregados Gruesos y finos:

Cant. Ag. Grueso =	14162.5	gr
Cant. Ag. Fino =	5428.5	gr
Cant. Total Muestra =	19591	gr
% Ag. Grueso =	72.29	%
% Ag. Fino =	27.71	%
Muestra Ensayo =	5500	gr
Ag. Grueso =	3976.00	gr
Ag. Fino =	1524.00	gr

2) Cálculo del Porcentaje de Humedad:

Wt =	112.6	gr
Wt + Th =	1036.6	gr
Wt + Ts =	1031.8	gr

FÓRMULA:

$$\%H = \frac{(Wt + Th) - (Wt + Ts)}{(Wt + Ts) - Wt} * 100$$

$$\% H = 0.52 \quad \%$$

3) Cálculo del Peso Seco Fino:

FÓRMULA:

$$Ws = \frac{Ag \text{ Fino}}{1 + \frac{\%H}{100}}$$

$$Ws = 1516.09 \quad \text{gr}$$

4) Cálculo de la Cantidad de Agua inicial:

FÓRMULA:

$$Ww = \frac{\%H * Ws}{100}$$

$$Ww = 7.92 \quad \text{cm}^3$$

4) Cálculo de la Cantidad de Agua de Aumentar:

Tabla de Cantidad de Agua

% H real	% Aparente	Cant Agua (cm3)	
0.52	0	0	0
3.52	3	53.37	55
6.52	6	98.85	100
9.52	9	144.33	150
12.52	12	189.81	190
15.52	15	235.30	250
18.52	18	280.78	300
21.52	21	326.26	330
24.52	24	371.74	375
27.52	27	417.23	420
30.52	30	462.71	470
33.52	31	508.19	510

FÓRMULA:

$$Ww = \frac{\%H \text{ Real} * Ag. \text{ Fino}}{100}$$

5) Cálculo de la Densidad de Compactación:

Nº Muestra	1	2	3	4	5
% H real	6.52	9.52	15.52	18.52	24.52
Cant. Agua (cm3)	100	150	250	300	375
Volúmen Cilindro (cm3)	2123.42				
Peso Cilindro (Wc) (gr)	6597				
Peso Compactado (Wc+M) (gr)	11136.6	11326.2	11429.7	11652.2	10771

HUMEDADES										
Nº Muestra	1		2		3		4		5	
Nº Tarro	S1	31	S10	A	T11	T05	T08	T01	T08'	T05'
Wt (gr)	65.6	66.72	65.3	64.62	52.7	52.85	52.9	43.46	40.4	25.2
Wt + Th (gr)	202.63	204.42	211.78	196.3	141.2	139.6	123.1	176.5	108.4	100
Wt + Ts (gr)	195.8	197.6	204.3	187.2	135.4	133.7	116.8	165.4	102.1	92.9
% H	5.25	5.21	5.38	7.42	7.01	7.30	9.86	9.10	10.21	10.49
% H prom.	5.23		6.40		7.16		9.48		10.35	

% H calc. =	7.067	%
-------------	-------	---

DENSIDADES HUMEDAS CALCULADAS					
Nº	1	2	3	4	5
Muestra					
δ (gr/cm3)	2.14	2.23	2.28	2.38	1.97
δ (kg/m3)	2137.87	2227.16	2275.90	2380.69	1965.70

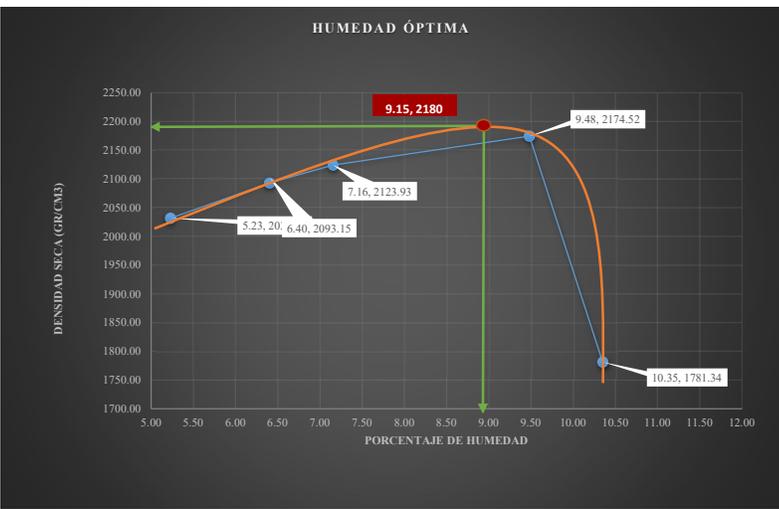
DENSIDADES HUMEDAS REAL					
Nº	1	2	3	4	5
Muestra					
δ (gr/cm3)	2.14	2.23	2.28	2.38	1.97
δ (kg/m3)	2137.87	2227.16	2275.90	2380.69	1965.70

DENSIDADES SECAS CALCULADAS					
Nº	1	2	3	4	5
Muestra					
δ_s (gr/cm3)	2.01	2.03	1.97	2.01	1.58
δ_s (kg/m3)	2007.01	2033.57	1970.14	2008.68	1578.62

DENSIDADES SECAS REALES					
Nº	1	2	3	4	5
Muestra					
δ_s (gr/cm3)	2.03	2.09	2.12	2.17	1.78
δ_s (kg/m3)	2031.65	2093.15	2123.93	2174.52	1781.34

6) Cálculo de la Humeda Óptima:

% H real	δ_s (kg/m3)
5.23	2031.65
6.40	2093.15
7.16	2123.93
9.48	2174.52
10.35	1781.34



RESULTADO		
%H opt =	8.9	%
δ_s max	2190	kg/m3

CBR

GRANULOMETRÍA

Tamiz #	Agregado Grueso Diametro (mm)	Cant. Retenida (gr)
3/4	19.1	3507.5
1/2	12.7	3446
3/8	9.52	2910
#4	4.76	4299
Agregado Fino		
Pasante #4	-	5428.5

1) Proporción de Agregados Gruesos y finos:

Cant. Ag. Grueso =	14162.5	gr
Cant. Ag. Fino =	5428.5	gr
Cant. Total Muestra =	19591	gr
% Ag. Grueso =	72.29	%
% Ag. Fino =	27.71	%
Muestra Ensayo =	5500	gr
Ag. Grueso =	3976.00	gr
Ag. Fino =	1524.00	gr

2) Proporción de cantidad de agua por añadir:

Humedad %		
WH+T	266.8	gr
WS+T	261.05	gr
WT	112.78	gr
%W	3.88	%
Wopt	8.9	%

CANTIDAD DE AGUA			
WS	5294.67		5500 gr
Ww_1	318.84	cc	1 %
Ww_1,5	345.32	cc	1.5 %
Ww_2	371.79	cc	2 %
Ww	345	cc	

FORMULA

$$W_w = \frac{\left(\%H_{optima} - \%H + \left(\frac{\sum \%H_{real\ usado}}{\# \text{ datos}} \right) \right) * W_{seco}}{100}$$

$$Cc \text{ real} = \frac{345.00}{\text{cm}^3}$$

3) Cálculo del Porcentaje de Humedad:

ANTES DEL REMOJO

MOLDE CBR	MOLDE 22		MOLDE 25		MOLDE 56		Unidad	FÓRMULAS
RECIPIENTE	9	26	5	202	13	CBI		
Peso Humedo + Tarro (Wh+T)	154.85	142.17	172.14	131.58	169.19	163.04		$W_s = (W_s + T) - W_t$
Peso Seco + Tarro (Ws+T)	146.63	134.13	162.25	124.94	160.67	153.22		$W_a = (W_h + T) - (W_s + T)$
Peso Tarro (Wt)	29.2	29.09	29.21	28.58	28.98	29.17	gr	
Peso Seco (Ws)	117.43	105.04	133.04	96.36	131.69	124.05		$\%H = \frac{(W_h + T) - (W_s + T)}{(W_s + T) - W_t} * 100$
Peso Agua (Wa)	8.22	8.04	9.89	6.64	8.52	9.82		
Porcentaje de Humedad (%H)	7.00	7.65	7.43	6.89	6.47	7.92		$\%H_{prom} = \frac{\sum \%H}{\# \text{ muestras}}$
Promedio de Porcentaje de Humedad (%Hprom)	7.33		7.16		7.19		%	

MOLDE 70	No existe esponjamiento	
MOLDE 56	No existe esponjamiento	MAYOR PRESENCIA DE GRAVAS
MOLDE 25	No existe esponjamiento	

5) CÁLCULO DE CARGA EN PRENSA DE CBR:

12 GOLPES				25 GOLPES				56 GOLPES			
MOLDE	DEFOR.	LECTURA CARGA	CARGA REAL (lb)	MOLDE	DEFOR.	LECTURA CARGA	CARGA REAL (lb)	MOLDE	DEFOR.	LECTURA CARGA	CARGA REAL (lb)
	0	0	0		0	0	0		0	0	0

	25	13	94.48		25	53	322.76		25	46	282.81
	50	25	162.96		50	96	568.15		50	101	596.69
	75	36	225.74		75	139	813.55		75	153	893.45
	100	48	294.22		100	178	1036.12		100	215	1247.27
22	150	73	436.89	25	150	255	1475.55	56	150	350	2017.71
	200	95	562.45		200	327	1886.45		200	487	2799.55
	250	121	710.82		250	404	2325.88		250	628	3604.22
	300	144	842.08		300	480	2759.60		300	765	4386.07
	400	194	1127.43		400	608	3490.09		400	1048	6001.12
	500	226	1310.05		500	730	4186.33		500	1346	7701.78

DESPUES DEL REMOJO

MOLDE CBR RECIPIENTE	MOLDE 22		MOLDE 25		MOLDE 56		Unidad	FÓRMULAS
	31	56	21	S12	A6	D6		
Peso Humedo + Tarro (Wh+T)	202.84	221.92	249.68	279.48	143.86	154.71		$W_s = (W_s + T) - W_t$
Peso Seco + Tarro (Ws+T)	188.59	207.37	234.61	262.73	136.83	147.43	gr	$W_a = (W_h + T) - (W_s + T)$
Peso Tarro (Wt)	43	66	43	64.9	43.6	52.7		
Peso Seco (Ws)	145.59	141.37	191.61	197.83	93.23	94.73		$\%H = \frac{(W_h + T) - (W_s + T)}{(W_s + T) - W_t} * 100$
Peso Agua (Wa)	14.25	14.55	15.07	16.75	7.03	7.28		$\%H_{prom} = \frac{\sum \%H}{\# \text{muestras}}$
Porcentaje de Humedad (%H)	9.79	10.29	7.86	8.47	7.54	7.68	%	
Promedio de Porcentaje de Humedad (%Hprom)	10.04		8.17		7.61			

6) DATOS DE LOS MOLDES:

ANTES DEL REMOJO				DESPUES DEL REMOJO			
MOLDE	22	25	56	MOLDE	22	25	56
Wm+T(gr)	10294.5	10714	11314	Wm+T(gr)	10398	10778.5	11364.5
Wm (gr)	5674.5	5721	5957	Wm (gr)	5674.5	5721	5957
Volúmen (cm3)	2390.1	2353.33	2353.33	Volúmen (cm3)	2390.1	2353.33	2353.33

DENSIDADES HUMEDAS CALCULADAS			
Nº Muestra	70	56	25
δ (gr/cm3)	1.93	2.12	2.28
δ (kg/m3)	1932.97	2121.67	2276.35

DENSIDADES SECAS CALCULADAS			
Nº Muestra	70	56	25
δs (gr/cm3)	1.80	1.98	2.12
δs (kg/m3)	1801.01	1979.87	2123.60

12 GOLPES

MOLDE	DEFOR.	DEFOR. (in)	LECTURA CARGA	CARGA REAL (lb)	PRESIÓN (lb/in2)	PRESIÓN CORR.	PRESIÓN ESTÁNDAR	CBR
	0	0.000	0	0.00	0.00		-	
	25	0.025	13	94.48	30.48		-	
	50	0.050	25	162.96	52.57		-	
	75	0.075	36	225.74	72.82		-	
	100	0.100	48	294.22	94.91	94.91	1000	9.49
25	150	0.150	73	436.89	140.93		-	
	200	0.200	95	562.45	181.43	181.43	1500	12.10
	250	0.250	121	710.82	229.30		-	
	300	0.300	144	842.08	271.64	271.64	1900	14.30
	400	0.400	194	1127.43	363.69		-	
	500	0.500	226	1310.05	422.60		-	



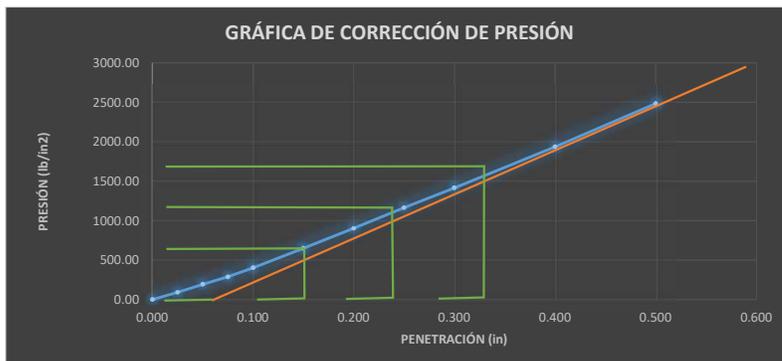
25 GOLPES

MOLDE	DEFOR.	DEFOR. (in)	LECTURA CARGA	CARGA REAL (lb)	PRESIÓN (lb/in ²)	PRESIÓN CORRIG.	PRESIÓN ESTÁNDAR	CBR
56	0	0.000	0	0.00	0.00		-	
	25	0.025	53	322.76	104.11		-	
	50	0.050	96	568.15	183.27		-	
	75	0.075	139	813.55	262.44		-	
	100	0.100	178	1036.12	334.23	334.23	1000	33.42
	150	0.150	255	1475.55	475.98		-	
	200	0.200	327	1886.45	608.53	608.53	1500	40.57
	250	0.250	404	2325.88	750.28		-	
	300	0.300	480	2759.60	890.19	890.19	1900	46.85
	400	0.400	608	3490.09	1125.83		-	
500	0.500	730	4186.33	1350.43		-		



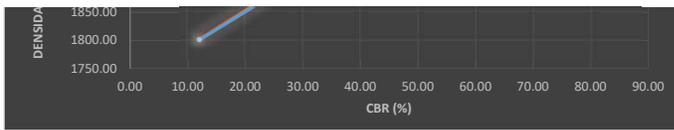
56 GOLPES

MOLDE	DEFOR.	DEFOR. (in)	LECTURA CARGA	CARGA REAL (lb)	PRESIÓN (lb/in ²)	PRESIÓN CORRIG.	PRESIÓN ESTÁNDAR	CBR
70	0	0.000	0	0	0.00		-	
	25	0.025	46	282.81	91.23		-	
	50	0.050	101	596.69	192.48		-	
	75	0.075	153	893.45	288.21		-	
	100	0.100	215	1247.27	402.35	650.87	1000	65.09
	150	0.150	350	2017.71	650.87		-	
	200	0.200	487	2799.55	903.08	1280	1500	85.33
	250	0.250	628	3604.22	1162.65		-	
	300	0.300	765	4386.07	1414.86	1700	1900	89.47
	400	0.400	1048	6001.12	1935.85		-	
500	0.500	1346	7701.78	2484.44		-		



CBR	δs (kg/m ³)
12.10	1801.01
40.57	1979.87
85.33	2123.60
<hr/>	
δs opt (kg/m ³)	2190





CBR al 100% Compactación = 85.33

6.4. ANEXO D: CÁLCULOS Y RESULTADOS DE ENSAYOS EN BASE GRANULAR MODIFICADA.

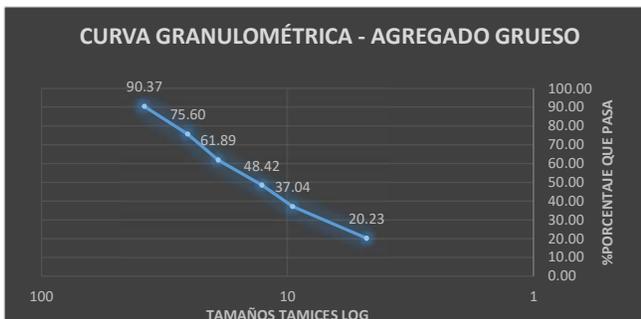
GRANULOMETRÍA

GRANULOMETRIA PARA AGREGADOS GRUESOS

Peso Muestra Original (gr) =	25833
%Humedad =	4.91

#Tamiz	Diametro (mm)	Cant. Ret	Cant. Ret. Acum	%Retenido	%Pasa
1 1/2	38.1	2463	2463	9.63	90.37
1	25.4	3777.5	6240.5	24.40	75.60
3/4	19.1	3507.5	9748	38.11	61.89
1/2	12.7	3446	13194	51.58	48.42
3/8	9.52	2910	16104	62.96	37.04
#4	4.76	4299	20403	79.77	20.23
FONDO	-	5428.5	25831.5	100.99	

Peso Muestra Total (gr) =	25577.44
Peso Seco Muestra (gr) =	5174.44



GRANULOMETRIA POR EL MÉTODO DE LOS FINOS

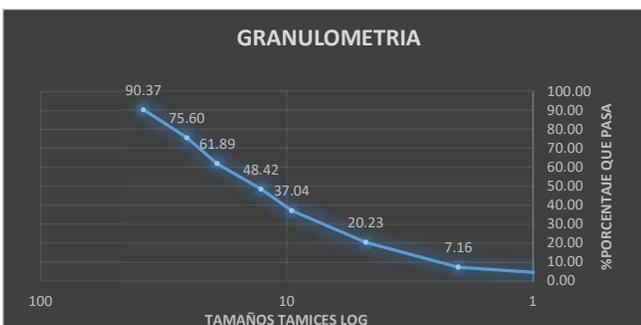
Peso Muestra Original (gr) =	500
Peso Muestra Seca (gr) =	405.50
%Humedad =	4.91

#Tamiz	Diametro (mm)	Cant. Ret	Cant. Ret. Acum	%Retenido	%Pasa
#10	2	167	167	88.10	11.90
#40	0.42	164	331	96.28	3.72
#200	0.074	68.5	399.5	99.70	0.30
FONDO	-	5.5	405		



GRANULOMETRIA

#Tamiz	Diametro (mm)	Cant. Ret	Cant. Ret. Acum	%Retenido	%Pasa
1 1/2	38.1	2463	2463	9.63	90.37
1	25.4	3777.5	6240.5	24.40	75.60
3/4	19.1	3507.5	9748	38.11	61.89
1/2	12.7	3446	13194	51.58	48.42
3/8	9.52	2910	16104	62.96	37.04
#4	4.76	4299	20403	79.77	20.23
PASANTE					
#4	-	5428.5	25831.5	100.99	
#10	2	262	262	92.84	7.16
#40	0.42	119.5	381.5	98.80	1.20
#200	0.074	51	432.5	101.35	0.00
FONDO	-	2.5	435		

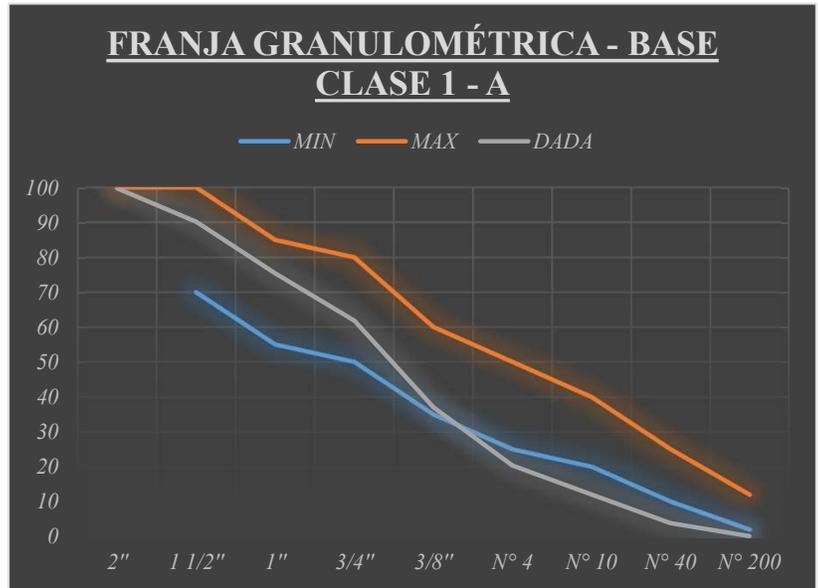


Porcentaje de Pérdida Permitido =	5%	1291.65	gr
$\%Perdida = Muestra\ Inicial * 0.05$			
Porcentaje de Pérdida Calculado =	1.7	25400.50	gr

FRANJAS GRANULOMÉTRICAS - BASES

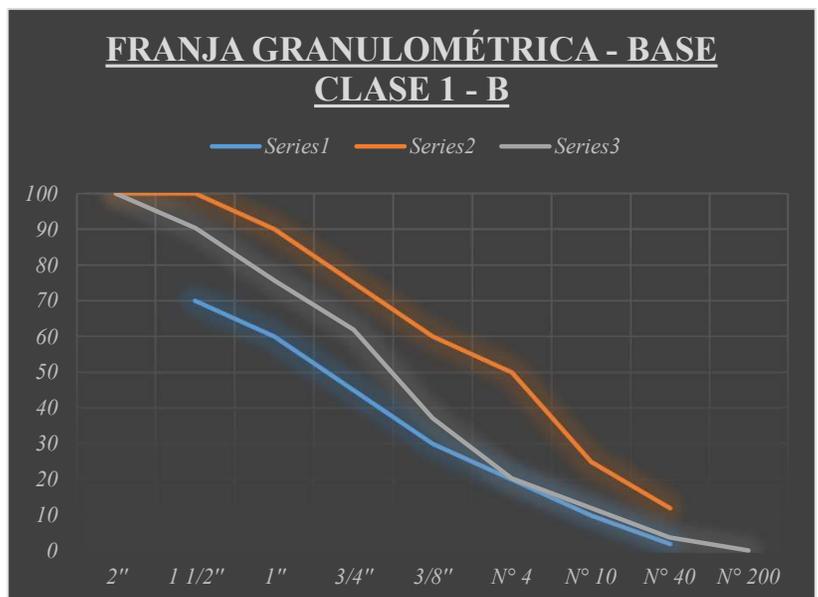
CLASE 1

TAMIZ	BASE CLASE 1 - A			
	MIN	MAX	DADA	
2"	50 mm	100	100	SI
1 1/2"	37,5 mm	70	100	90.37 SI
1"	25 mm	55	85	75.60 NO
3/4"	19 mm	50	80	61.89 SI
3/8"	9,5 mm	35	60	37.04 NO
Nº 4	4,75 mm	25	50	20.23 NO
Nº 10	2 mm	20	40	11.90 NO
Nº 40	0,425 mm	10	25	3.72 NO
Nº 200	0,075 mm	2	12	0.00 SI



CLASE 1 - B

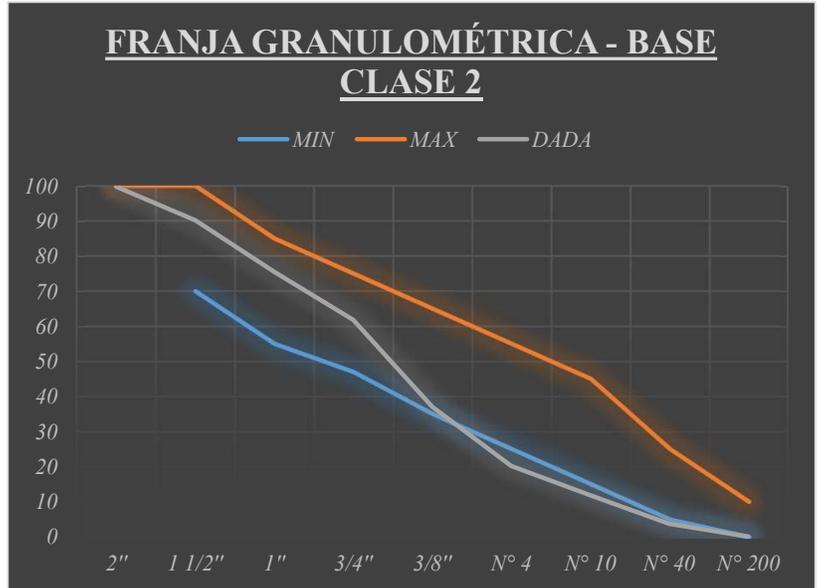
TAMIZ	BASE CLASE 1 - B			
	MIN	MAX	DADA	
2"	50 mm	100	100	SI
1 1/2"	37,5 mm	70	100	90.37 SI
1"	25 mm	60	90	75.60 SI
3/4"	19 mm	45	75	61.89 SI
3/8"	9,5 mm	30	60	37.04 SI
Nº 4	4,75 mm	20	50	20.23 NO
Nº 10	2 mm	10	25	11.90 NO
Nº 40	0,425 mm	2	12	3.72 SI
Nº 200	0,075 mm			0.00



CLASE 2

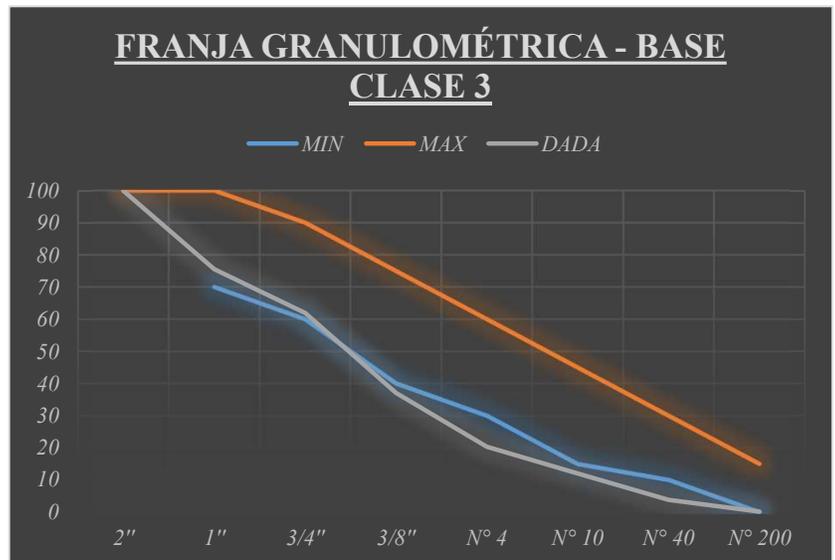
CLASE 2

TAMIZ		BASE CLASE 2		
		MIN	MAX	DADA
2"	50 mm		100	100 SI
1 1/2"	37,5 mm	70	100	90.37 SI
1"	25 mm	55	85	75.60 NO
3/4"	19 mm	47	75	61.89 SI
3/8"	9,5 mm	35	65	37.04 NO
N° 4	4,75 mm	25	55	20.23 NO
N° 10	2 mm	15	45	11.90 NO
N° 40	0,425 mm	5	25	3.72 NO
N° 200	0,075 mm	0	10	0.00 SI



CLASE 3

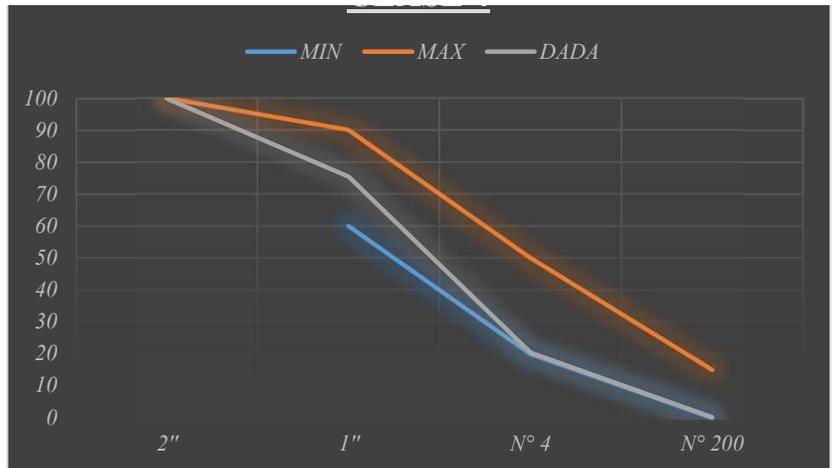
TAMIZ		BASE CLASE 3		
		MIN	MAX	DADA
2"	50 mm		100	100 SI
1"	25 mm	70	100	75.60 SI
3/4"	19 mm	60	90	61.89 SI
3/8"	9,5 mm	40	75	37.04 NO
N° 4	4,75 mm	30	60	20.23 NO
N° 10	2 mm	15	45	11.90 NO
N° 40	0,425 mm	10	30	3.72 NO
N° 200	0,075 mm	0	15	0.00 SI



CLASE 4

FRANJA GRANULOMÉTRICA - BASE CLASE 4

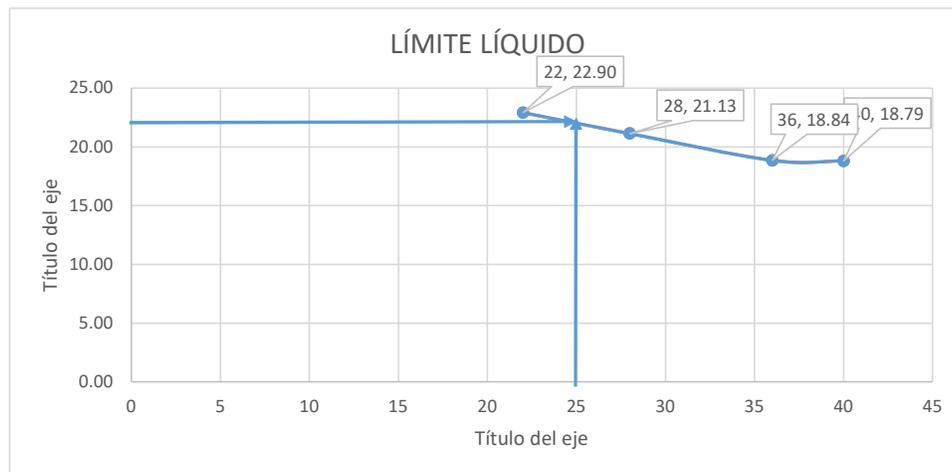
TAMIZ		BASE CLASE 4			
		MIN	MAX	DADA	
2"	50 mm		100	100	SI
1"	25 mm	60	90	75.60	SI
N° 4	4,75 mm	20	50	20.23	NO
N° 200	0,075 mm	0	15	0.00	SI



LÍMITES DE ATTERBERG

DETERMINACIÓN DE LÍMITE LÍQUIDO:

RECIPIENTE	26	13	31	25	Unidad	FÓRMULAS
Peso Humedo + Tarro (Wh+T)	55	55.8	50.65	49.99		$Ws = (Ws + T) - Wt$
Peso Seco + Tarro (Ws+T)	49.7	50.3	45.6	44.7	gr	$Wa = (Wh + T) - (Ws + T)$
Peso Tarro (Wt)	21.5	21.1	21.7	21.6		
Peso Seco (Ws)	28.2	29.2	23.9	23.1		
Peso Agua (Wa)	5.3	5.5	5.05	5.29		$\%H = \frac{(Wh + T) - (Ws + T)}{(Ws + T) - Wt} * 100$
Porcentaje de Humedad (%H)	18.79	18.84	21.13	22.90	%	
Promedio de Porcentaje de Humedad (%Hprom)		20.42				$\%H_{prom} = \frac{(\sum \%H)}{\# \text{muestras}}$
# Golpes	40	36	28	22	u	



LÍMITE LÍQUIDO A LOS 25 GOLPES (%) = 22.70

DETERMINACIÓN DE LÍMITE PLÁSTICO:

RECIPIENTE	11	6	17	12A	Unidad	FÓRMULAS
Peso Humedo + Tarro (Wh+T)	25.25	25.07	24.68	26.34		$Ws = (Ws + T) - Wt$
Peso Seco + Tarro (Ws+T)	24.5	24.6	24.1	25.7	gr	$Wa = (Wh + T) - (Ws + T)$
Peso Tarro (Wt)	20.68	21.93	21.27	22.06		
Peso Seco (Ws)	3.82	2.67	2.83	3.64		
Peso Agua (Wa)	0.75	0.47	0.58	0.64		$\%H = \frac{(Wh + T) - (Ws + T)}{(Ws + T) - Wt} * 100$
Porcentaje de Humedad (%H)	19.63	17.60	20.49	17.58	%	
Promedio de Porcentaje de Humedad (%Hprom)		18.83				$\%H_{prom} = \frac{(\sum \%H)}{\# \text{muestras}}$

LÍMITE PLÁSTICO (%) = 18.83

DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE PLASTICIDAD

FORMULA

$$I_p = \text{Límite Líquido} - \text{Límite Plástico}$$

$$I_p = LL - LP$$

$$I_p (\%) = \quad \quad \quad 3.87$$

CLASIFICACIÓN DE SUELOS - MÉTODO AASHTO

Clasificación general	Materiales granulares (35% o menos pasa el tamiz #200)							Materiales limoarcillosos (más de 35% pasa el tamiz #200)				
Clasificación de grupo	A-1		A-3 ^A	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5 A-7-6	
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7					
Tamizado, % que pasa												
No. 10 (2.00mm)	50 máx.	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
No. 40 (425µm)	30 máx.	50 máx.	51 mín.	...	...	...	...	...	...	...	...
No. 200 (75µm)	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 mín.	36 mín.	36 mín.	
Consistencia												
Límite líquido					B	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Índice de plasticidad	6 máx.		N.P.					B	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín. ^B
Tipos de materiales característicos	Cantos, grava y arena		Arena fina	Grava y arena limoarcillosas				Suelos limosos		Suelos arcillosos		
Calificación	Excelente a bueno							Regular a malo				

^A La colocación de A3 antes de A2 en el proceso de eliminación de izquierda a derecha no necesariamente indica superioridad de A3 sobre A2.

^B El índice de plasticidad del subgrupo A-7-5 es igual o menor que LL-30. El índice de plasticidad del subgrupo A-7-6 es mayor que LL-30.

MÉTODO AASHTO

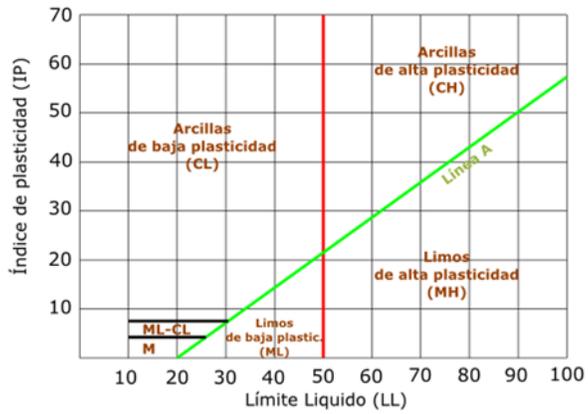
#Tamiz	Diametro (mm)	%Pasa
1 1/2	38.1	99.68
1	25.4	88.66
3/4	19.1	69.41
1/2	12.7	44.69
3/8	9.52	34.23
#4	4.76	12.87
PASANTE	-	-
#4	-	-

Según la clasificación de suelos por el método AASHTO, haciendo uso de los valores calculados de la granulometría, LL, LP e IP, se tiene lo siguiente:

Pertenece al grupo A-1 (A-1-a), dentro de Cantos, grava y arena. Por lo que es un material clasificado como Excelente a bueno

#10	2	7.90
#40	0.42	2.82
#200	0.074	0.00
FONDO	-	

Gráfica de plasticidad del USCS



MÉTODO SUCS para suelo Finos

Según la clasificación de suelos por el método SUCS para agregados finos, haciendo uso de los valores calculados de la granulometría LL y LP, se tiene lo siguiente:

GRAVA MAL GRADUADA GP:
Gravas mal graduadas, mezclas grava-arena, pocos finos o sin finos.

LÍMITES DE ATTERBERG

DETERMINACIÓN DE LÍMITE LÍQUIDO:

RECIPIENTE	P7	P8	P5	P14	Unidad	FÓRMULAS
Peso Humedo + Tarro (Wh+T)	35.46	38.16	38.2	30.19		$Ws = (Ws + T) - Wt$
Peso Seco + Tarro (Ws+T)	31.89	34.02	33.87	26.99	gr	$Wa = (Wh + T) - (Ws + T)$
Peso Tarro (Wt)	11.06	10.71	10.23	10.36		
Peso Seco (Ws)	20.83	23.31	23.64	16.63		
Peso Agua (Wa)	3.57	4.14	4.33	3.2		$\%H = \frac{(Wh + T) - (Ws + T)}{(Ws + T) - Wt} * 100$
Porcentaje de Humedad (%H)	17.14	17.76	18.32	19.24	%	
Promedio de Porcentaje de Humedad (%Hprom)		18.11				$\%H_{prom} = \frac{(\sum \%H)}{\# \text{muestras}}$
# Golpes	38	34	28	22	u	



LÍMITE LÍQUIDO A LOS 25 GOLPES (%) = 18.75

DETERMINACIÓN DE LÍMITE PLÁSTICO:

RECIPIENTE	P10	P12	P11	P6	Unidad	FÓRMULAS
Peso Humedo + Tarro (Wh+T)	13.87	15.84	12.22	13.14		$Ws = (Ws + T) - Wt$
Peso Seco + Tarro (Ws+T)	13.56	15.43	11.94	12.8	gr	$Wa = (Wh + T) - (Ws + T)$
Peso Tarro (Wt)	11.77	12.93	10.05	10.96		
Peso Seco (Ws)	1.79	2.5	1.89	1.84		
Peso Agua (Wa)	0.31	0.41	0.28	0.34		$\%H = \frac{(Wh + T) - (Ws + T)}{(Ws + T) - Wt} * 100$
Porcentaje de Humedad (%H)	17.32	16.40	14.81	18.48	%	
Promedio de Porcentaje de Humedad (%Hprom)		16.75				$\%H_{prom} = \frac{(\sum \%H)}{\# \text{muestras}}$

LÍMITE PLÁSTICO (%) = 16.75

DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE PLASTICIDAD

FORMULA

$$I_p = \text{Límite Líquido} - \text{Límite Plástico}$$

$$I_p = LL - LP$$

$$I_p (\%) = \quad \quad \quad 2.00$$

CLASIFICACIÓN DE SUELOS - MÉTODO AASHTO

Clasificación general	Materiales granulares (35% o menos pasa el tamiz #200)							Materiales limoarcillosos (más de 35% pasa el tamiz #200)				
Clasificación de grupo	A-1		A-3 ^A	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5 A-7-6	
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7					
Tamizado, % que pasa												
No. 10 (2.00mm)	50 máx.	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
No. 40 (425µm)	30 máx.	50 máx.	51 mín.	...	...	...	...	...	...	...	...
No. 200 (75µm)	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 mín.	36 mín.	36 mín.	
Consistencia												
Límite líquido					B	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Índice de plasticidad	6 máx.		N.P.					B	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín. ^B
Tipos de materiales característicos	Cantos, grava y arena		Arena fina	Grava y arena limoarcillosas				Suelos limosos		Suelos arcillosos		
Calificación	Excelente a bueno							Regular a malo				

^A La colocación de A3 antes de A2 en el proceso de eliminación de izquierda a derecha no necesariamente indica superioridad de A3 sobre A2.

^B El índice de plasticidad del subgrupo A-7-5 es igual o menor que LL-30. El índice de plasticidad del subgrupo A-7-6 es mayor que LL-30.

MÉTODO AASHTO

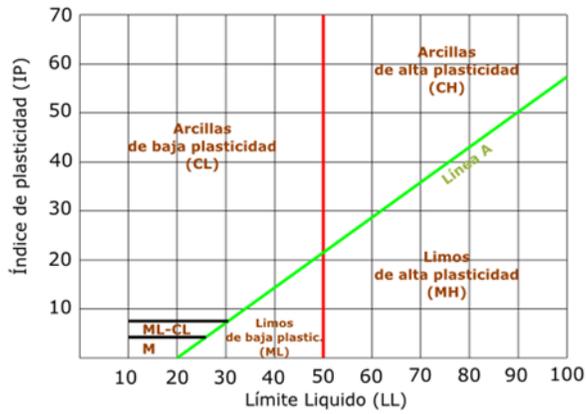
Según la clasificación de suelos por el método AASHTO, haciendo uso de los valores calculados de la granulometría, LL, LP e IP, se tiene lo siguiente:

Pertenece al grupo A-1 (A-1-a), dentro de Cantos, grava y arena. Por lo que es un material clasificado como Excelente a bueno

#Tamiz	Diametro (mm)	%Pasa
1 1/2	38.1	99.68
1	25.4	88.66
3/4	19.1	69.41
1/2	12.7	44.69
3/8	9.52	34.23
#4	4.76	12.87
PASANTE	-	-
#4	-	-

#10	2	7.90
#40	0.42	2.82
#200	0.074	0.00
FONDO	-	

Gráfica de plasticidad del USCS



MÉTODO SUCS para suelo Finos

Según la clasificación de suelos por el método SUCS para agregados finos, haciendo uso de los valores calculados de la granulometría LL y LP, se tiene lo siguiente:

GRAVA MAL GRADUADA GP:
 Gravas mal graduadas, mezclas grava-arena, pocos finos o sin finos.

PROCTOR MODIFICADO

GRANULOMETRÍA

Tamiz #	Agregado Grueso	
	Diametro (mm)	Cant. Retenida (gr)
3/4	19.1	3507.5
1/2	12.7	3446
3/8	9.52	2910
#4	4.76	4299
Agregado Fino		
Pasante #4	-	5428.5

1) Proporción de Agregados Gruesos y finos:

Cant. Ag. Grueso =	14162.5	gr
Cant. Ag. Fino =	5428.5	gr
Cant. Total Muestra =	19591	gr
% Ag. Grueso =	72.29	%
% Ag. Fino =	27.71	%
Muestra Ensayo =	5500	gr
Ag. Grueso =	3976.00	gr
Ag. Fino =	1447.80	gr
Ag. Escoria 5% =	76.20	gr

2) Cálculo del Porcentaje de Humedad:

Wt =	116.98	gr
Wt + Th =	242.35	gr
Wt + Ts =	237.73	gr

FÓRMULA:

$$\%H = \frac{(Wt + Th) - (Wt + Ts)}{(Wt + Ts) - Wt} * 100$$

% H =	3.83	%
-------	------	---

3) Cálculo del Peso Seco Fino:

FÓRMULA:

$$Ws = \frac{Ag\ Fino}{1 + \frac{\%H}{100}}$$

Ws =	1467.84	gr
------	---------	----

4) Cálculo de la Cantidad de Agua inicial:

FÓRMULA:

$$Ww = \frac{\%H * Ws}{100}$$

Ww =	56.16	cm3
------	-------	-----

4) Cálculo de la Cantidad de Agua de Aumentar:

Tabla de Cantidad de Agua

% H real	% Aparente	Cant Agua (cm3)	
3.83	0	0	0
6.83	3	100.20	110
9.83	6	144.23	145
12.83	9	188.27	190
15.83	12	232.30	235
18.83	15	276.34	280
21.83	18	320.37	325
24.83	21	364.41	370
27.83	24	408.44	410
30.83	27	452.48	455
33.83	30	496.51	500
36.83	31	540.55	545

FÓRMULA:

$$Ww = \frac{\%H Real * Ag. Fino}{100}$$

5) Cálculo de la Densidad de Compactación:

Nº Muestra	1	2	3	4
------------	---	---	---	---

% H real	9.83	18.83	27.83
Cant. Agua (cm3)	145	280	410
Volúmen Cilindro (cm3)	2151.09		
Peso Cilindro (Wc) (gr)	6592		
Peso Compactado (Wc+M) (gr)	10874	11358.5	11374.5

HUMEDADES							
Nº Muestra	1		2		3		4
Nº Tarro	P6	P5	S1	T2	T08	T04	
Wt (gr)	10.96	10.24	43.94	43.57	40.75	29.43	
Wt + Th (gr)	40.77	46.81	146.39	154.32	119.88	135.51	
Wt + Ts (gr)	39.59	45.64	140.39	148.54	113.12	128.28	
% H	4.12	3.31	6.22	5.51	9.34	7.31	
% H prom.	3.71		5.86		8.33		

% H calc. =	5.968	%
-------------	-------	---

DENSIDADES HUMEDAS CALCULADAS				
Nº Muestra	1	2	3	4
δ (gr/cm3)	1.99	2.22	2.22	
δ (kg/m3)	1990.62	2215.85	2223.29	

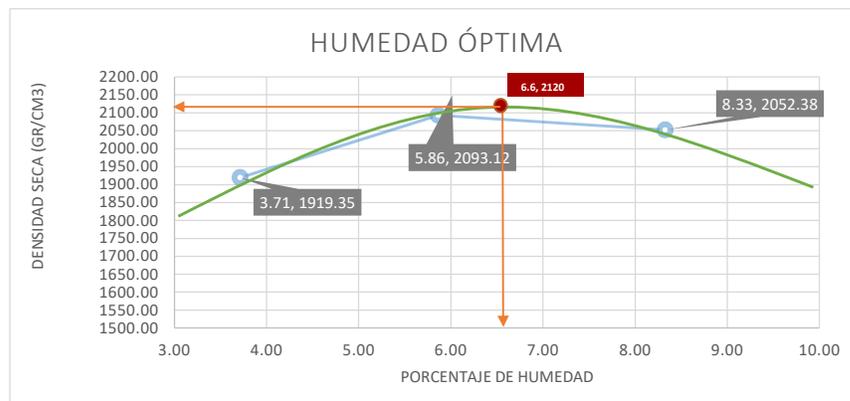
DENSIDADES SECAS CALCULADAS				
Nº Muestra	1	2	3	4
δs (gr/cm3)	1.81	1.86	1.74	
δs (kg/m3)	1812.52	1864.79	1739.31	

DENSIDADES HUMEDAS REAL				
Nº Muestra	1	2	3	4
δ (gr/cm3)	1.99	2.22	2.22	
δ (kg/m3)	1990.62	2215.85	2223.29	

DENSIDADES SECAS REALES				
Nº Muestra	1	2	3	4
δs (gr/cm3)	1.92	2.09	2.05	
δs (kg/m3)	1919.35	2093.12	2052.38	

6) Cálculo de la Humeda Óptima:

% H real	δs (kg/m3)
3.71	1919.35
5.86	2093.12
8.33	2052.38



RESULTADO		
%H opt =	6.6	%
δs max (kg/m3)	2120	kg/m3

CBR

GRANULOMETRÍA

Tamiz #	Agregado Grueso	
	Diametro (mm)	Cant. Retenida (gr)
3/4	19.1	3507.5
1/2	12.7	3446
3/8	9.52	2910
#4	4.76	4299
Agregado Fino		
Pasante #4	-	5428.5

1) Proporción de Agregados Gruesos y finos:

Cant. Ag. Grueso =	14162.5	gr
Cant. Ag. Fino =	5428.5	gr
Cant. Total Muestra =	19591	gr
% Ag. Grueso =	72.29	%
% Ag. Fino =	27.71	%
Muestra Ensayo =	5500	gr
Ag. Grueso =	3976.00	gr
Ag. Fino =	1447.80	gr
Ag. Escoria 5% =	76.20	gr

2) Proporción de cantidad de agua por añadir:

SE INFIERE QUE, DEBIDO A QUE ES EL MISMO MATERIAL, SE UTILIZARÁ LA MISMA CANTIDAD DE AGUA DETERMINADA EN EL ENSAYO CBR DE BASE SIN MODIFICACIÓN, PARA DETERMINAR ASÍ, SU VARIACIÓN

Humedad %			CANTIDAD DE AGUA			
WH+T	266.8	gr	WS	5294.67	5500	gr
WS+T	261.05	gr	Ww_1	318.84	1	%
WT	112.78	gr	Ww_1,5	345.32	1.5	%
%W	3.88	%	Ww_2	371.79	2	%
Wopt	8.9	%	Ww =	345.32	cc	

FORMULA

$$Ww = \frac{\left(\%H_{optima} - \%H + \left(\frac{\sum \%H_{real\ usado}}{\# datos} \right) \right) * W_{seco}}{100}$$

$$Cc_{real} = 345.00 \quad cm^3$$

3) Cálculo del Porcentaje de Humedad:

ANTES DEL REMOJO

MOLDE CBR							Unidad	FÓRMULAS
	22	25	56	1B	T08	T05		
RECIPIENTE	9	13	15	15	15	15		
Peso Humedo + Tarro (Wh+T)	150.31	166.35	245.13	224.38	169.18	155.1	gr	$Ws = (Ws + T) - Wt$
Peso Seco + Tarro (Ws+T)	142.69	158.37	236.01	216.14	162.03	147.87	gr	$Wa = (Wh + T) - (Ws + T)$
Peso Tarro (Wt)	30.6	29.98	68.05	66.38	35.72	25.39	gr	
Peso Seco (Ws)	112.09	128.39	167.96	149.76	126.31	122.48	gr	$\%H = \frac{(Wh + T) - (Ws + T)}{(Ws + T) - Wt} * 100$
Peso Agua (Wa)	7.62	7.98	9.12	8.24	7.15	7.23	gr	
Porcentaje de Humedad (%H)	6.80	6.22	5.43	5.50	5.66	5.90	%	$\%H_{prom} = \frac{\sum \%H}{\# muestras}$
Promedio de Porcentaje de Humedad (%Hprom)	6.51		5.47		5.78			

4) ESPONJAMIENTO DEL MATERIAL DESPUÉS DE 4 DÍAS EN AGUA Y COMPACTADO:

MOLDE 70	No existe esponjamiento	MAYOR PRESENCIA DE GRAVAS
MOLDE 56	No existe esponjamiento	
MOLDE 25	No existe esponjamiento	

5) CÁLCULO DE CARGA EN PRENSA DE CBR:

12 GOLPES				25 GOLPES				56 GOLPES			
MOLDE	DEFOR.	LECTURA CARGA	CARGA REAL (lb)	MOLDE	DEFOR.	LECTURA CARGA	CARGA REAL (lb)	MOLDE	DEFOR.	LECTURA CARGA	CARGA REAL (lb)
	0	0	0		0	0	0		0	0	0
	25	11	83.07		25	39	242.86		25	54	328.46
	50	24	157.26		50	88	522.50		50	139	813.55
	75	45	277.10		75	143	836.38		75	244	1412.77
	100	58	351.29		100	199	1155.96		100	330	1903.57
	150	86	511.08		150	298	1720.95		150	481	2765.31
	200	121	710.82		200	376	2166.08		200	611	3507.21
	250	145	847.79		250	443	2548.45		250	715	4100.72
	300	192	1116.01		300	515	2959.34		300	812	4654.29
	400	245	1418.48		400	640	3672.71		400	990	5670.12
	500	317	1829.38		500	758	4346.12		500	1178	6743.02

DESPUES DEL REMOJO

MOLDE CBR	22	25	56	Unidad	FÓRMULAS		
RECIPIENTE	A9	S6	D1	PE1	S10	T1	
Peso Humedo + Tarro (Wh+T)	220.24	214.35	265.4	178.56	224.02	179.43	$Ws = (Ws + T) - Wt$
Peso Seco + Tarro (Ws+T)	208.93	203.09	249.88	169.01	213.09	171.06	$Wa = (Wh + T) - (Ws + T)$
Peso Tarro (Wt)	67.72	66.1	69.71	44.19	64.67	52.71	$\%H = \frac{(Wh + T) - (Ws + T)}{(Ws + T) - Wt} * 100$
Peso Seco (Ws)	141.21	136.99	180.17	124.82	148.42	118.35	
Peso Agua (Wa)	11.31	11.26	15.52	9.55	10.93	8.37	$\%H_{prom} = \frac{(\sum \%H)}{\# muestras}$
Porcentaje de Humedad (%H)	8.01	8.22	8.61	7.65	7.36	7.07	
Promedio de Porcentaje de Humedad (%Hprom)	8.11	8.13	7.22				

6) DATOS DE LOS MOLDES:

ANTES DEL REMOJO				DESPUES DEL REMOJO			
MOLDE	22	25	56	MOLDE	22	25	56
Wm+T(gr)	9960.5	10367	10913.5	Wm+T(gr)	10032	10450	1990.5
Wm (gr)	5674.5	5721	5957	Wm (gr)	5674.5	5721	5957
Volúmen (cm3)	2390.1	2353.33	2353.33	Volúmen (cm3)	2390.1	2353.33	2353.33

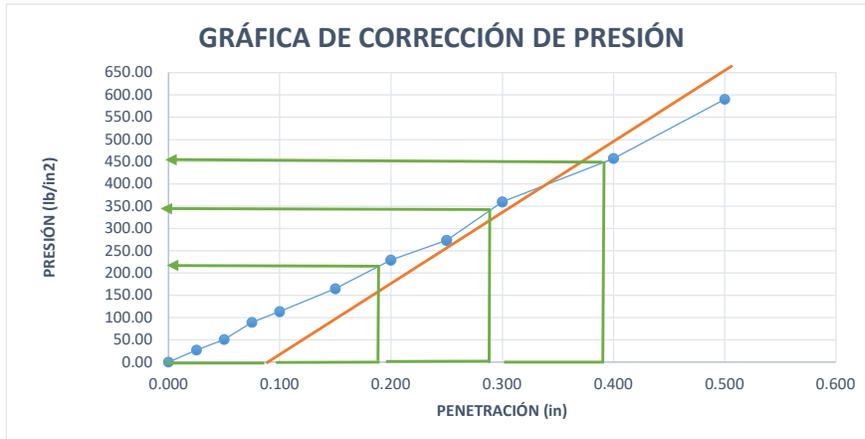
DENSIDADES HUMEDAS CALCULADAS			
Nº Muestra	70	56	25
δ (gr/cm3)	1.79	1.97	2.11
δ (kg/m3)	1793.23	1974.22	2106.16

DENSIDADES SECAS CALCULADAS			
Nº Muestra	70	56	25
δs (gr/cm3)	1.68	1.87	1.99
δs (kg/m3)	1683.68	1871.91	1991.05

12 GOLPES

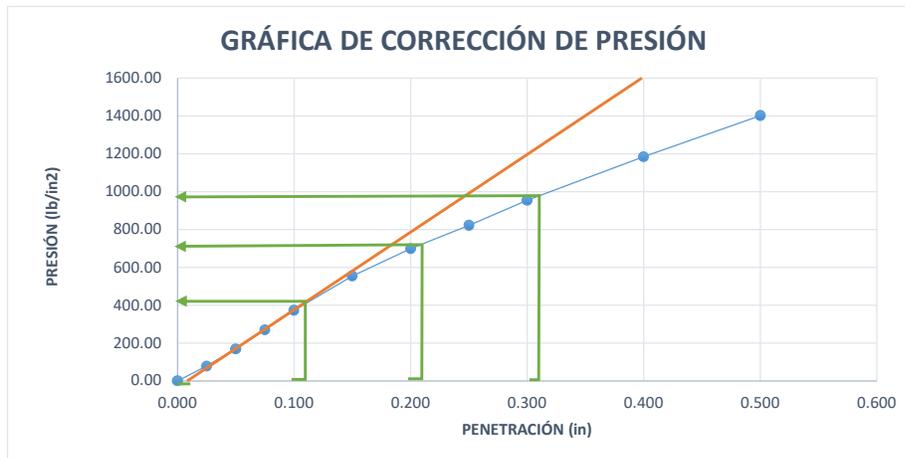
MOLDE	DEFOR.	DEFOR. (in)	LECTURA CARGA	CARGA REAL (lb)	PRESIÓN (lb/in2)	PRESIÓN CORRIG.	PRESIÓN ESTÁNDAR	CBR
-------	--------	-------------	---------------	-----------------	------------------	-----------------	------------------	-----

	0	0.000	0	0.00	0.00	-		
	25	0.025	11	83.07	26.80	-		
	50	0.050	24	157.26	50.73	-		
	75	0.075	45	277.10	89.39	-		
25	100	0.100	58	351.29	113.32	220	1000	22.00
	150	0.150	86	511.08	164.87	-	-	-
	200	0.200	121	710.82	229.30	345	1500	23.00
	250	0.250	145	847.79	273.48	-	-	-
	300	0.300	192	1116.01	360.00	445	1900	23.42
	400	0.400	245	1418.48	457.57	-	-	-
	500	0.500	317	1829.38	590.12	-	-	-



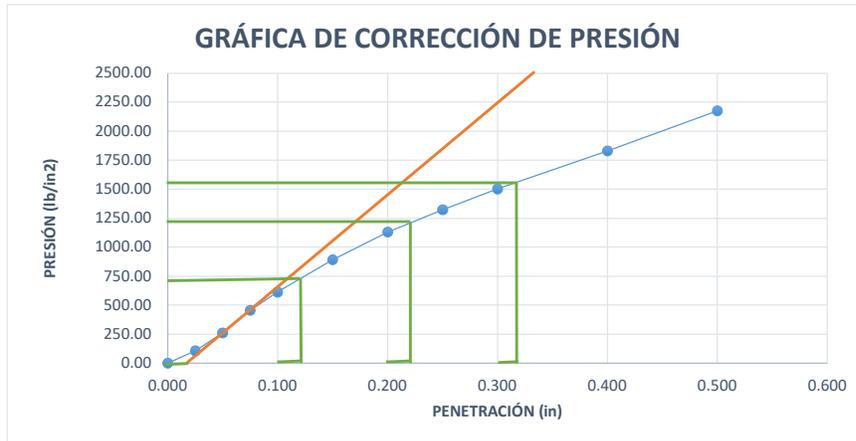
25 GOLPES

MOLDE	DEFOR.	DEFOR. (in)	LECTURA CARGA	CARGA REAL (lb)	PRESIÓN (lb/in²)	PRESIÓN CORRIG.	PRESIÓN ESTÁNDAR	CBR
	0	0.000	0	0.00	0.00	-	-	-
	25	0.025	39	242.86	78.34	-	-	-
	50	0.050	88	522.50	168.55	-	-	-
	75	0.075	143	836.38	269.80	-	-	-
56	100	0.100	199	1155.96	372.89	410	1000	41.00
	150	0.150	298	1720.95	555.14	-	-	-
	200	0.200	376	2166.08	698.74	720	1500	48.00
	250	0.250	443	2548.45	822.08	-	-	-
	300	0.300	515	2959.34	954.63	990	1900	52.11
	400	0.400	640	3672.71	1184.74	-	-	-
	500	0.500	758	4346.12	1401.97	-	-	-



56 GOLPES

MOLDE	DEFOR.	DEFOR. (in)	LECTURA CARGA	CARGA REAL (lb)	PRESIÓN (lb/in ²)	PRESIÓN CORRIG.	PRESIÓN ESTÁNDAR	CBR
70	0	0.000	0	0	0.00	-	-	
	25	0.025	54	328.46	105.96	-	-	
	50	0.050	139	813.55	262.44	-	-	
	75	0.075	244	1412.77	455.73	-	-	
	100	0.100	330	1903.57	614.05	745	1000	74.50
	150	0.150	481	2765.31	892.04	-	-	
	200	0.200	611	3507.21	1131.36	1245	1500	83.00
	250	0.250	715	4100.72	1322.81	-	-	
	300	0.300	812	4654.29	1501.38	1520	1900	80.00
	400	0.400	990	5670.12	1829.07	-	-	
	500	0.500	1178	6743.02	2175.17	-	-	



CBR	δs (kg/m ³)
23.00	1683.68
48.00	1871.91
83.00	1991.05

δs opt (kg/m ³)	2120
-----------------------------	------



CBR al 100% Compactación = **83.00**
 CBR al 95% Compactación =

DENSIDAD SECA AL 100 % = **1991.05**
 DENSIDAD SECA AL 95 % =

PROCTOR MODIFICADO

GRANULOMETRÍA

Tamiz #	Agregado Grueso	
	Diametro (mm)	Cant. Retenida (gr)
3/4	19.1	3507.5
1/2	12.7	3446
3/8	9.52	2910
#4	4.76	4299
Agregado Fino		
Pasante #4	-	5428.5

1) Proporción de Agregados Gruesos y finos:

Cant. Ag. Grueso =	14162.5	gr
Cant. Ag. Fino =	5428.5	gr
Cant. Total Muestra =	19591	gr
% Ag. Grueso =	72.29	%
% Ag. Fino =	27.71	%
Muestra Ensayo =	5500	gr
Ag. Grueso =	3976.00	gr
Ag. Fino =	1371.60	gr
Ag. Escoria 10% =	152.40	gr

2) Cálculo del Porcentaje de Humedad:

Wt =	112.8	gr
Wt + Th =	250.02	gr
Wt + Ts =	246.11	gr

FÓRMULA:

$$\%H = \frac{(Wt + Th) - (Wt + Ts)}{(Wt + Ts) - Wt} * 100$$

% H =	2.93	%
-------	------	---

3) Cálculo del Peso Seco Fino:

FÓRMULA:

$$Ws = \frac{Ag\ Fino}{1 + \frac{\%H}{100}}$$

Ws =	1480.57	gr
------	---------	----

4) Cálculo de la Cantidad de Agua inicial:

FÓRMULA:

$$Ww = \frac{\%H * Ws}{100}$$

Ww =	43.43	cm3
------	-------	-----

4) Cálculo de la Cantidad de Agua de Aumentar:

Tabla de Cantidad de Agua

% H real	% Aparente	Cant Agua (cm3)	
2.93	0	0	0
5.93	3	87.84	80
8.93	6	132.26	120
11.93	9	176.68	160
14.93	12	221.09	200
17.93	15	265.51	240
20.93	18	309.93	280
23.93	21	354.35	320
26.93	24	398.76	360
29.93	27	443.18	400
32.93	30	487.60	440
35.93	31	532.02	480

FÓRMULA:

$$Ww = \frac{\%H\ Real * Ag.Fino}{100}$$

5) Cálculo de la Densidad de Compactación:

N° Muestra	1	2	3	4
% H real	11.93	20.93	29.93	
Cant. Agua (cm3)	160	280	400	
Volúmen Cilindro (cm3)	2151.09			
Peso Cilindro (Wc) (gr)	6592			
Peso Compactado (Wc+M) (gr)	11123.5	11321	11386.5	

HUMEDADES						
N° Muestra	1		2		3	4
N° Tarro	18	S12	21	T3	T05	T08
Wt (gr)	66.1	64.9	70	67.5	25.2	35.5
Wt + Th (gr)	214.03	207.84	208.85	227.09	150.1	177.66
Wt + Ts (gr)	208.1	202.78	201.05	218.64	142.44	168.64
% H	4.18	3.67	5.95	5.59	6.53	6.77
% H prom.	3.92		5.77		6.65	

% H calc. =	5.450	%
-------------	-------	---

DENSIDADES HUMEDAS CALCULADAS				
N° Muestra	1	2	3	4
δ (gr/cm3)	2.11	2.20	2.23	
δ (kg/m3)	2106.61	2198.42	2228.87	

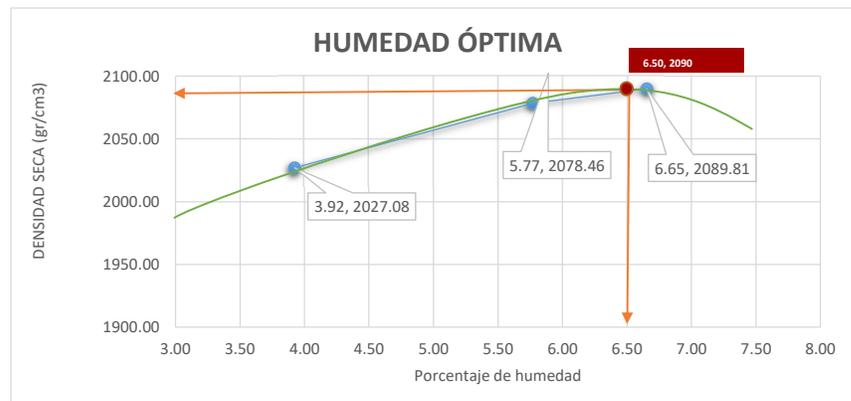
DENSIDADES SECAS CALCULADAS				
N° Muestra	1	2	3	4
δ_s (gr/cm3)	1.88	1.82	1.72	
δ_s (kg/m3)	1882.02	1817.88	1715.40	

DENSIDADES HUMEDAS REAL				
N° Muestra	1	2	3	4
δ (gr/cm3)	2.11	2.20	2.23	
δ (kg/m3)	2106.61	2198.42	2228.87	

DENSIDADES SECAS REALES				
N° Muestra	1	2	3	4
δ_s (gr/cm3)	2.03	2.08	2.09	
δ_s (kg/m3)	2027.08	2078.46	2089.81	

6 Cálculo de la Humeda Óptima:

% H real	δ_s (kg/m3)
3.92	2027.08
5.77	2078.46
6.65	2089.81



RESULTADO		
%H opt =	6.5	%
δ_s max (kg/m3)	2090	kg/m3

CBR

GRANULOMETRÍA

Tamiz #	Agregado Grueso	
	Diametro (mm)	Cant. Retenida (gr)
3/4	19.1	3507.5
1/2	12.7	3446
3/8	9.52	2910
#4	4.76	4299
Agregado Fino		
Pasante #4	-	5428.5

1) Proporción de Agregados Gruesos y finos:

Cant. Ag. Grueso =	14162.5	gr
Cant. Ag. Fino =	5428.5	gr
Cant. Total Muestra =	19591	gr
% Ag. Grueso =	72.29	%
% Ag. Fino =	27.71	%
Muestra Ensayo =	5500	gr
Ag. Grueso =	3976.00	gr
Ag. Fino =	1371.60	gr
Ag. Escoria 5% =	152.40	gr

2) Proporción de cantidad de agua por añadir:

SE INFIERE QUE, DEBIDO A QUE ES EL MISMO MATERIAL, SE UTILIZARÁ LA MISMA CANTIDAD DE AGUA DETERMINADA EN EL ENSAYO CBR DE BASE SIN MODIFICACIÓN, PARA DETERMINAR ASÍ, SU VARIACIÓN

Humedad %		
WH+T	266.8	gr
WS+T	261.05	gr
WT	112.78	gr
%W	3.88	%
Wopt	8.9	%

CANTIDAD DE AGUA				
WS	5294.67		5500	gr
Ww_1	318.84	cc	1	%
Ww_1,5	345.32	cc	1.5	%
Ww_2	371.79	cc	2	%
Ww =	345.32	cc		

FORMULA

$$Ww = \frac{\left(\%H_{optima} - \%H + \left(\frac{\sum \%H \text{ real usado}}{\# \text{ datos}} \right) \right) * W_{seco}}{100}$$

$$Cc \text{ real} = 345.00 \text{ cm}^3$$

3) Cálculo del Porcentaje de Humedad:

ANTES DEL REMOJO

MOLDE CBR	2		5		9		Unidad	FÓRMULAS
RECIPIENTE	T13	T12	T01	T02	T06	D7		
Peso Humedo + Tarro (Wh+T)	152.34	168.19	175.25	178.39	158.42	177.49		$Ws = (Ws + T) - Wt$
Peso Seco + Tarro (Ws+T)	145.31	161.67	167.99	170.38	152.06	169.75		$Wa = (Wh + T) - (Ws + T)$
Peso Tarro (Wt)	37.17	36.35	32.83	35.72	36.87	44.08	gr	
Peso Seco (Ws)	108.14	125.32	135.16	134.66	115.19	125.67		$\%H = \frac{(Wh + T) - (Ws + T)}{(Ws + T) - Wt} * 100$
Peso Agua (Wa)	7.03	6.52	7.26	8.01	6.36	7.74		
Porcentaje de Humedad (%H)	6.50	5.20	5.37	5.95	5.52	6.16	%	$\%H_{prom} = \frac{(\sum \%H)}{\# \text{ muestras}}$
Promedio de Porcentaje de Humedad (%Hprom)	5.85		5.66		5.84			

4) ESPONJAMIENTO DEL MATERIAL DESPUÉS DE 4 DÍAS EN AGUA Y COMPACTADO:

MOLDE 70	No existe esponjamiento	MAYOR PRESENCIA DE GRAVAS
MOLDE 56	No existe esponjamiento	
MOLDE 25	No existe esponjamiento	

5) CÁLCULO DE CARGA EN PRENSA DE CBR:

12 GOLPES				25 GOLPES				56 GOLPES			
MOLDE	DEFOR.	LECTURA CARGA	CARGA REAL (lb)	MOLDE	DEFOR.	LECTURA CARGA	CARGA REAL (lb)	MOLDE	DEFOR.	LECTURA CARGA	CARGA REAL (lb)
	0	0	0		0	0	0		0	0	0
	25	19	128.72		25	40	248.57		25	52	317.05
	50	37	231.45		50	76	454.01		50	87	516.79
	75	56	339.88		75	108	636.64		75	143	836.38
	100	75	448.31		100	138	807.84		100	194	1127.43
	150	114	670.88		150	201	1167.38		150	293	1692.41
	200	158	921.98		200	258	1492.67		200	412	2371.53
	250	200	1161.67		250	306	1766.60		250	535	3073.48
	300	248	1435.60		300	358	2063.36		300	696	3992.29
	400	344	1983.46		400	445	2559.86		400	968	5544.57
	500	448	2576.98		500	538	3090.60		500	1240	7096.85

DESPUES DEL REMOJO

MOLDE CBR	2	5	9	Unidad	FÓRMULAS
RECIPIENTE	T13	T06	T0		
Peso Humedo + Tarro (Wh+T)	153.15	177.99	185.83		$Ws = (Ws + T) - Wt$
Peso Seco + Tarro (Ws+T)	145.06	168.51	174.89		$Wa = (Wh + T) - (Ws + T)$
Peso Tarro (Wt)	37.22	36.97	32.92	gr	
Peso Seco (Ws)	107.84	131.54	141.97		$\%H = \frac{(Wh + T) - (Ws + T)}{(Ws + T) - Wt} * 100$
Peso Agua (Wa)	8.09	9.48	10.94		$\%H_{prom} = \frac{(\sum \%H)}{\# muestras}$
Porcentaje de Humedad (%H)	7.50	7.21	7.71	%	
Promedio de Porcentaje de Humedad (%Hprom)	7.35	7.72	8.19		

6) DATOS DE LOS MOLDES:

ANTES DEL REMOJO				DESPUES DEL REMOJO			
MOLDE	2	5	9	MOLDE	2	5	9
Wm+T(gr)	10571	10997.5	11579.5	Wm+T(gr)	10496	10644	11655
Wm (gr)	6217.5	6407	6680	Wm (gr)	6217.5	6407	6680
Volúmen (cm3)	2334.94	2334.94	2334.94	Volúmen (cm3)	2334.94	2334.94	2334.94

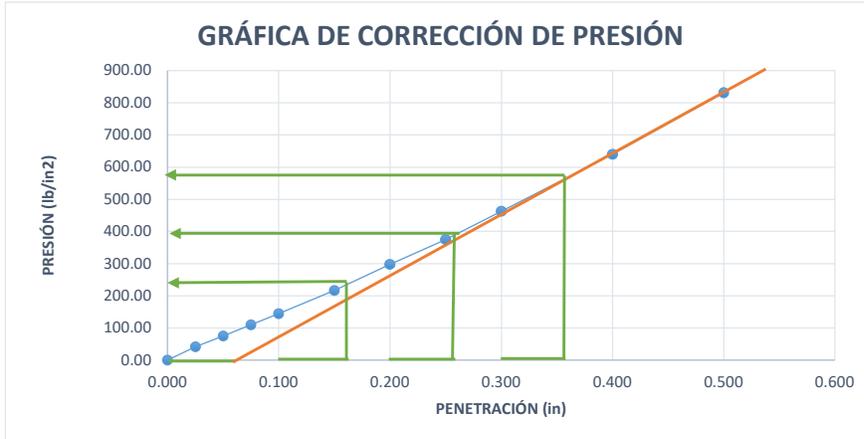
DENSIDADES HUMEDAS CALCULADAS			
Nº Muestra	70	56	25
δ (gr/cm3)	1.86	1.97	2.10
δ (kg/m3)	1864.50	1966.00	2098.34

DENSIDADES SECAS CALCULADAS			
Nº Muestra	70	56	25
δs (gr/cm3)	1.76	1.86	1.98
δs (kg/m3)	1761.43	1860.69	1982.56

12 GOLPES

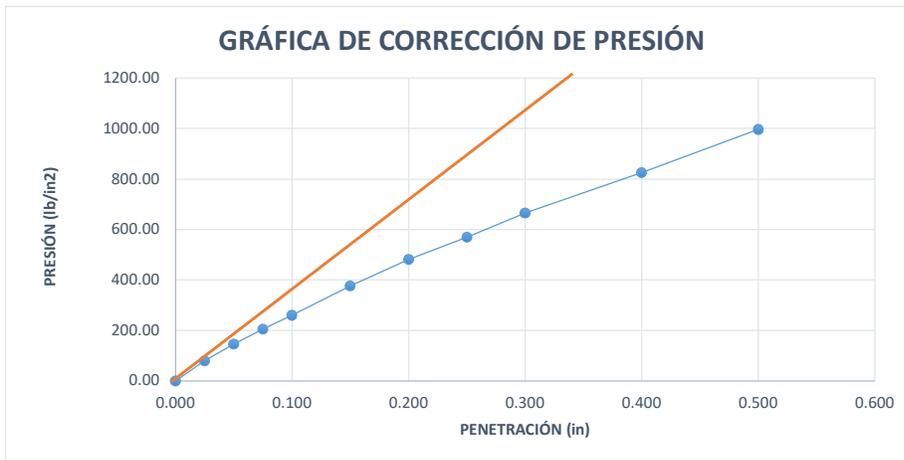
MOLDE	DEFOR.	DEFOR. (in)	LECTURA CARGA	CARGA REAL (lb)	PRESIÓN (lb/in2)	PRESIÓN CORRIG.	PRESIÓN ESTÁNDAR	CBR
-------	--------	-------------	---------------	-----------------	------------------	-----------------	------------------	-----

	0	0.000	0	0.00	0.00	-		
	25	0.025	19	128.72	41.52	-		
	50	0.050	37	231.45	74.66	-		
	75	0.075	56	339.88	109.64	-		
25	100	0.100	75	448.31	144.62	245	1000	24.50
	150	0.150	114	670.88	216.41	-	-	-
	200	0.200	158	921.98	297.41	395	1500	26.33
	250	0.250	200	1161.67	374.73	-	-	-
	300	0.300	248	1435.60	463.10	580	1900	30.53
	400	0.400	344	1983.46	639.83	-	-	-
	500	0.500	448	2576.98	831.28	-	-	-



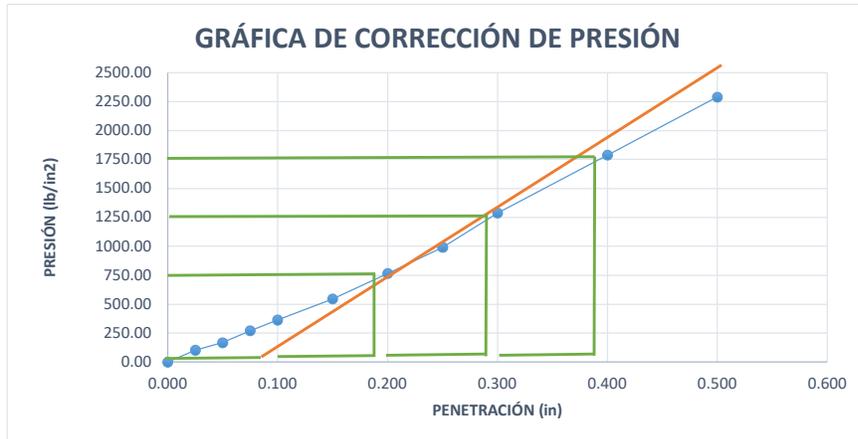
25 GOLPES

MOLDE	DEFOR.	DEFOR. (in)	LECTURA CARGA	CARGA REAL (lb)	PRESIÓN (lb/in²)	PRESIÓN CORRIG.	PRESIÓN ESTÁNDAR	CBR
	0	0.000	0	0.00	0.00	-	-	-
	25	0.025	40	248.57	80.18	-	-	-
	50	0.050	76	454.01	146.46	-	-	-
	75	0.075	108	636.64	205.37	-	-	-
56	100	0.100	138	807.84	260.59	260.59	1000	26.06
	150	0.150	201	1167.38	376.57	-	-	-
	200	0.200	258	1492.67	481.51	481.51	1500	32.10
	250	0.250	306	1766.60	569.87	-	-	-
	300	0.300	358	2063.36	665.60	665.6	1900	35.03
	400	0.400	445	2559.86	825.76	-	-	-
	500	0.500	538	3090.60	996.97	-	-	-



56 GOLPES

MOLDE	DEFOR.	DEFOR. (in)	LECTURA CARGA	CARGA REAL (lb)	PRESIÓN (lb/in ²)	PRESIÓN CORRIG.	PRESIÓN ESTÁNDAR	CBR
70	0	0.000	0	0	0.00		-	
	25	0.025	52	317.05	102.27		-	
	50	0.050	87	516.79	166.71		-	
	75	0.075	143	836.38	269.80		-	
	100	0.100	194	1127.43	363.69	740	1000	74.00
	150	0.150	293	1692.41	545.94		-	
	200	0.200	412	2371.53	765.01	1240	1500	82.67
	250	0.250	535	3073.48	991.45		-	
	300	0.300	696	3992.29	1287.84	1740	1900	91.58
	400	0.400	968	5544.57	1788.57		-	
500	0.500	1240	7096.85	2289.31		-		



CBR	δs (kg/m ³)
26.33	1761.43
32.10	1860.69
82.67	1982.56

δs opt (kg/m³)
2090



CBR al 100% Compactación =	82.67	DENSIDAD SECA AL 100 % =	1982.56
CBR al 95% Compactación =		DENSIDAD SECA AL 95 % =	

PROCTOR MODIFICADO

GRANULOMETRÍA

Tamiz #	Agregado Grueso	
	Diametro (mm)	Cant. Retenida (gr)
3/4	19.1	3507.5
1/2	12.7	3446
3/8	9.52	2910
#4	4.76	4299
Agregado Fino		
Pasante #4	-	5428.5

1) Proporción de Agregados Gruesos y finos:

Cant. Ag. Grueso =	14162.5	gr
Cant. Ag. Fino =	5428.5	gr
Cant. Total Muestra =	19591	gr
% Ag. Grueso =	72.29	%
% Ag. Fino =	27.71	%
Muestra Ensayo =	5500	gr
Ag. Grueso =	3976.00	gr
Ag. Fino =	1295.40	gr
Ag Escoria 15% =	228.60	gr

2) Cálculo del Porcentaje de Humedad:

Wt =	112.8	gr
Wt + Th =	240	gr
Wt + Ts =	237.04	gr

FÓRMULA:

$$\%H = \frac{(Wt + Th) - (Wt + Ts)}{(Wt + Ts) - Wt} * 100$$

$$\% H = 2.38 \quad \%$$

3) Cálculo del Peso Seco Fino:

FÓRMULA:

$$Ws = \frac{Ag\ Fino}{1 + \frac{\%H}{100}}$$

$$Ws = 1488.54 \quad gr$$

4) Cálculo de la Cantidad de Agua inicial:

FÓRMULA:

$$Ww = \frac{\%H * Ws}{100}$$

$$Ww = 35.46 \quad cm3$$

4) Cálculo de la Cantidad de Agua de Aumentar:

Tabla de Cantidad de Agua

% H real	% Aparente	Cant Agua (cm3)	
2.38	0	0	0
5.38	3	80.12	85
8.38	6	124.78	130
11.38	9	169.43	175
14.38	12	214.09	220
17.38	15	258.74	260
20.38	18	303.40	305
23.38	21	348.06	350
26.38	24	392.71	400
29.38	27	437.37	440
32.38	30	482.02	490
35.38	31	526.68	530

FÓRMULA:

$$Ww = \frac{\%H Real * Ag. Fino}{100}$$

5) Cálculo de la Densidad de Compactación:

N° Muestra	1	2	3	4
% H real	11.38	20.38	29.38	
Cant. Agua (cm ³)	175	305	440	
Volúmen Cilindro (cm ³)	2151.09			
Peso Cilindro (Wc) (gr)	6592			
Peso Compactado (Wc+M) (gr)	11227.5	11316.5	11355	

HUMEDADES						
N° Muestra	1		2		3	4
N° Tarro	31	D6	S6	A6	9	13
Wt (gr)	43	52.7	66	43.6	29.25	29.16
Wt + Th (gr)	187.1	173.86	205.88	171.96	194.4	172.96
Wt + Ts (gr)	180.28	168.93	197.79	164.96	182.84	162.02
% H	4.97	4.24	6.14	5.77	7.53	8.23
% H prom.	4.60		5.95		7.88	

% H calc. =	4.610	%
-------------	-------	---

DENSIDADES HUMEDAS CALCULADAS				
N° Muestra	1	2	3	4
δ (gr/cm ³)	2.15	2.20	2.21	
δ (kg/m ³)	2154.95	2196.33	2214.23	

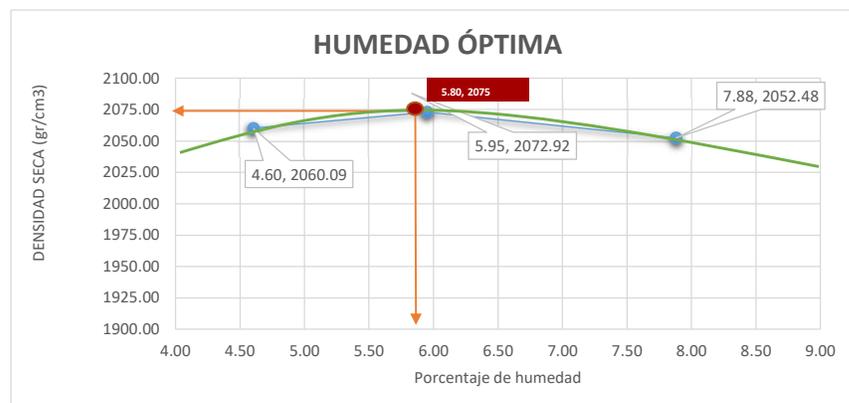
DENSIDADES SECAS CALCULADAS				
N° Muestra	1	2	3	4
δs (gr/cm ³)	1.93	1.82	1.71	
δs (kg/m ³)	1934.73	1824.46	1711.38	

DENSIDADES HUMEDAS REAL				
N° Muestra	1	2	3	4
δ (gr/cm ³)	2.15	2.20	2.21	
δ (kg/m ³)	2154.95	2196.33	2214.23	

DENSIDADES SECAS REALES				
N° Muestra	1	2	3	4
δs (gr/cm ³)	2.06	2.07	2.05	
δs (kg/m ³)	2060.09	2072.92	2052.48	

6) Cálculo de la Humeda Óptima:

% H real	δs (kg/m ³)
4.60	2060.09
5.95	2072.92
7.88	2052.48



RESULTADO		
%H opt =	5.8	%
δs max (kg/m ³)	2075	kg/m ³

CBR

GRANULOMETRÍA

Tamiz #	Agregado Grueso	
	Diametro (mm)	Cant. Retenida (gr)
3/4	19.1	3507.5
1/2	12.7	3446
3/8	9.52	2910
#4	4.76	4299
Agregado Fino		
Pasante #4	-	5428.5

1) Proporción de Agregados Gruesos y finos:

Cant. Ag. Grueso =	14162.5	gr
Cant. Ag. Fino =	5428.5	gr
Cant. Total Muestra =	19591	gr
% Ag. Grueso =	72.29	%
% Ag. Fino =	27.71	%
Muestra Ensayo =	5500	gr
Ag. Grueso =	3976.00	gr
Ag. Fino =	1295.40	gr
Ag. Escoria 5% =	228.60	gr

2) Proporción de cantidad de agua por añadir:

SE INFIERE QUE, DEBIDO A QUE ES EL MISMO MATERIAL, SE UTILIZARÁ LA MISMA CANTIDAD DE AGUA DETERMINADA EN EL ENSAYO CBR DE BASE SIN MODIFICACIÓN, PARA DETERMINAR ASÍ, SU VARIACIÓN

Humedad %			CANTIDAD DE AGUA				
WH+T	266.8	gr	WS	5294.67		5500	gr
WS+T	261.05	gr	Ww_1	318.84	cc	1	%
WT	112.78	gr	Ww_1,5	345.32	cc	1.5	%
%W	3.88	%	Ww_2	371.79	cc	2	%
Wopt	8.9	%	Ww =	345.32	cc		

FORMULA

$$Ww = \frac{\left(\%H_{optima} - \%H + \left(\frac{\sum \%H_{real\ usado}}{\# \text{ datos}} \right) \right) * W_{seco}}{100}$$

$$Cc \text{ real} = 345.00 \text{ cm}^3$$

3) Cálculo del Porcentaje de Humedad:

ANTES DEL REMOJO

MOLDE CBR	1		2		3		Unidad	FÓRMULAS
RECIPIENTE	T0	T06	T08	T02	T05	T13		
Peso Humedo + Tarro (Wh+T)	157.33	145.45	161.45	168.64	159.43	167.65		$Ws = (Ws + T) - Wt$
Peso Seco + Tarro (Ws+T)	149.33	137.45	153.45	160.64	151.43	159.65		$Wa = (Wh + T) - (Ws + T)$
Peso Tarro (Wt)	32.84	36.89	35.39	35.72	25.08	37.23	gr	
Peso Seco (Ws)	116.49	100.56	118.06	124.92	126.35	122.42		$\%H = \frac{(Wh + T) - (Ws + T)}{(Ws + T) - Wt} * 100$
Peso Agua (Wa)	8	8	8	8	8	8		
Porcentaje de Humedad (%H)	6.87	7.96	6.78	6.40	6.33	6.53	%	$\%H_{prom} = \frac{\sum \%H}{\# \text{ muestras}}$
Promedio de Porcentaje de Humedad (%Hprom)	7.41		6.59		6.43			

4) ESPONJAMIENTO DEL MATERIAL DESPUÉS DE 4 DÍAS EN AGUA Y COMPACTADO:

MOLDE 70	No existe esponjamiento	MAYOR PRESENCIA DE
----------	-------------------------	--------------------

MOLDE 56 No existe esponjamiento
 MOLDE 25 No existe esponjamiento

MAJOR PRESENCIA DE
 GRAVAS

5) CÁLCULO DE CARGA EN PRENSA DE CBR:

12 GOLPES				25 GOLPES				56 GOLPES			
MOLDE	DEFOR.	LECTURA CARGA	CARGA REAL (lb)	MOLDE	DEFOR.	LECTURA CARGA	CARGA REAL (lb)	MOLDE	DEFOR.	LECTURA CARGA	CARGA REAL (lb)
	0	0	0		0	0	0		0	0	0
	25	16	111.60		25	58	351.29		25	65	391.24
	50	32	202.91		50	108	636.64		50	118	693.70
	75	44	271.39		75	153	893.45		75	163	950.51
	100	58	351.29		100	198	1150.26		100	220	1275.81
	150	87	516.79		150	289	1669.58		150	268	1549.74
	200	118	693.70		200	375	2160.38		200	374	2154.67
	250	150	876.33		250	454	2611.22		250	464	2668.29
	300	173	1007.58		300	535	3073.48		300	552	3170.50
	400	248	1435.60		400	690	3958.05		400	740	4243.40
	500	303	1749.48		500	850	4871.16		500	1035	5926.93

DESPUES DEL REMOJO

MOLDE CBR	1	2	3	Unidad	FÓRMULAS		
RECIPIENTE	12	111	TT	S18	25	20	
Peso Humedo + Tarro (Wh+T)	192.79	165.19	164.2	153.64	144.65	168.09	$Ws = (Ws + T) - Wt$
Peso Seco + Tarro (Ws+T)	180.54	153.53	153.84	143.28	135.27	156.54	$Wa = (Wh + T) - (Ws + T)$
Peso Tarro (Wt)	29.4	29.37	29.35	28.74	29.02	28.84	$\%H = \frac{(Wh + T) - (Ws + T)}{(Ws + T) - Wt} * 100$
Peso Seco (Ws)	151.14	124.16	124.49	114.54	106.25	127.7	
Peso Agua (Wa)	12.25	11.66	10.36	10.36	9.38	11.55	$\%H_{prom} = \frac{(\sum \%H)}{\# muestras}$
Porcentaje de Humedad (%H)	8.11	9.39	8.32	9.04	8.83	9.04	
Promedio de Porcentaje de Humedad (%Hprom)	8.75		8.68		8.94		

6) DATOS DE LOS MOLDES:

ANTES DEL REMOJO				DESPUES DEL REMOJO			
MOLDE	1	2	3	MOLDE	1	2	3
Wm+T(gr)	10485.5	12034.5	11393.5	Wm+T(gr)	11657.5	11061	10645.5
Wm (gr)	6310	7276.5	6350.5	Wm (gr)	6310	7276.5	6350.5
Volúmen (cm3)	2353.33	2353.33	2353.33	Volúmen (cm3)	2353.32936	2353.3294	2353.3294

DENSIDADES HUMEDAS CALCULADAS

Nº Muestra	70	56	25
δ (gr/cm3)	1.77	2.02	2.14
δ (kg/m3)	1774.29	2021.82	2142.92

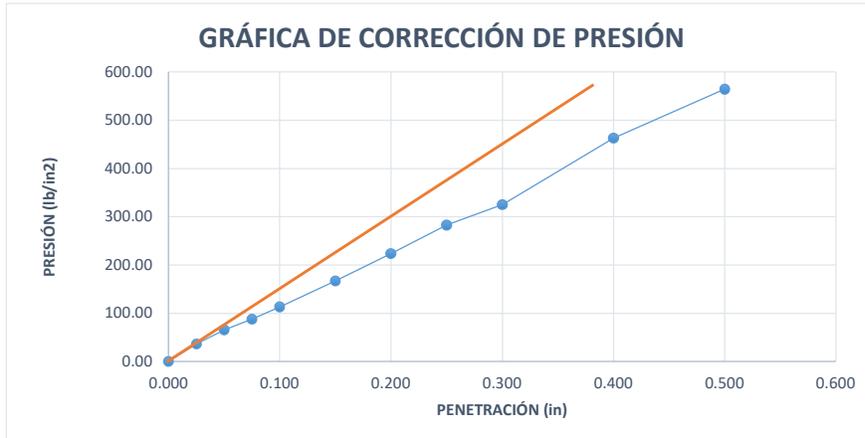
DENSIDADES SECAS CALCULADAS

Nº Muestra	70	56	25
δs (gr/cm3)	1.65	1.90	2.01
δs (kg/m3)	1651.87	1896.81	2013.39

12 GOLPES

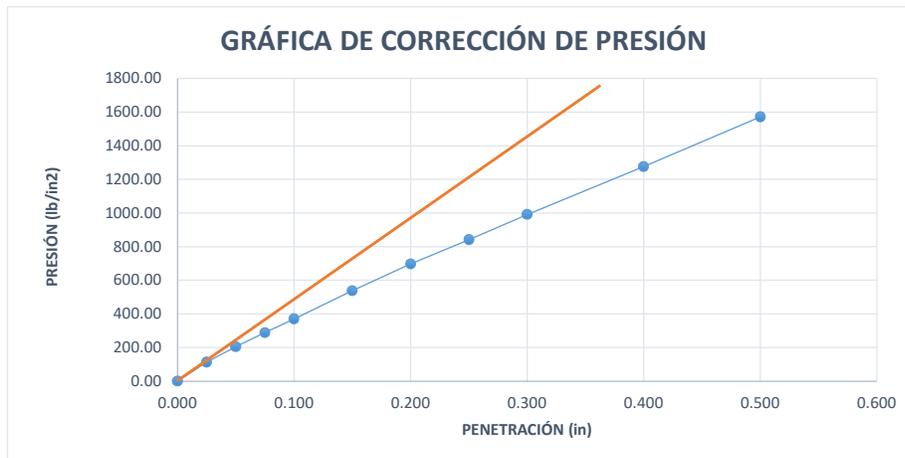
MOLDE	DEFOR.	DEFOR. (in)	LECTURA CARGA	CARGA REAL (lb)	PRESIÓN (lb/in2)	PRESIÓN CORR.	PRESIÓN ESTÁNDAR	CBR
	0	0.000	0	0.00	0.00		-	

	25	0.025	16	111.60	36.00	-	-	-
	50	0.050	32	202.91	65.46	-	-	-
	75	0.075	44	271.39	87.55	-	-	-
25	100	0.100	58	351.29	113.32	113.32	1000	11.33
	150	0.150	87	516.79	166.71	-	-	-
	200	0.200	118	693.70	223.78	223.78	1500	14.92
	250	0.250	150	876.33	282.69	-	-	-
	300	0.300	173	1007.58	325.03	325.03	1900	17.11
	400	0.400	248	1435.60	463.10	-	-	-
	500	0.500	303	1749.48	564.35	-	-	-



25 GOLPES

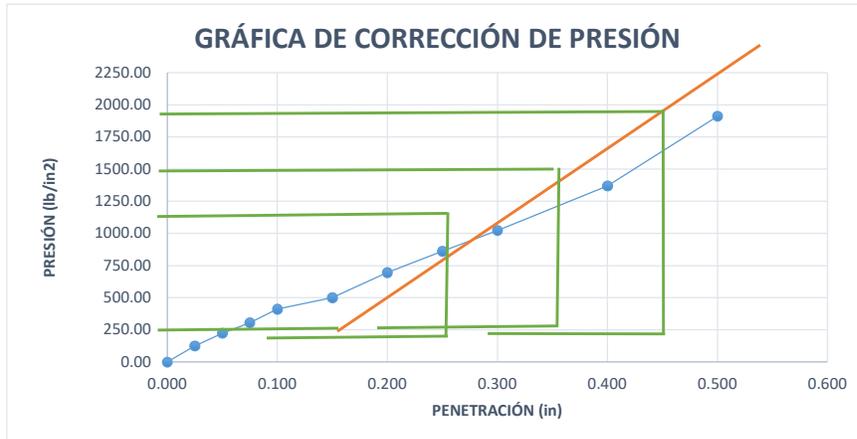
MOLDE	DEFOR.	DEFOR. (in)	LECTURA CARGA	CARGA REAL (lb)	PRESIÓN (lb/in²)	PRESIÓN CORRIG.	PRESIÓN ESTÁNDAR	CBR
	0	0.000	0	0.00	0.00	-	-	-
	25	0.025	58	351.29	113.32	-	-	-
	50	0.050	108	636.64	205.37	-	-	-
	75	0.075	153	893.45	288.21	-	-	-
56	100	0.100	198	1150.26	371.05	371.05	1000	37.11
	150	0.150	289	1669.58	538.58	-	-	-
	200	0.200	375	2160.38	696.90	696.90	1500	46.46
	250	0.250	454	2611.22	842.33	-	-	-
	300	0.300	535	3073.48	991.45	991.45	1900	52.18
	400	0.400	690	3958.05	1276.79	-	-	-
	500	0.500	850	4871.16	1571.34	-	-	-



56 GOLPES

MOLDE	DEFOR.	DEFOR. (in)	LECTURA CARGA	CARGA REAL (lb)	PRESIÓN (lb/in²)	PRESIÓN CORRIG.	PRESIÓN ESTÁNDAR	CBR
-------	--------	-------------	---------------	-----------------	------------------	-----------------	------------------	-----

	0	0.000	0	0	0.00	-		
	25	0.025	65	391.24	126.21	-		
	50	0.050	118	693.70	223.78	-		
	75	0.075	163	950.51	306.62	-		
70	100	0.100	220	1275.81	411.55	730	1000	73.00
	150	0.150	268	1549.74	499.92		-	
	200	0.200	374	2154.67	695.06	1150	1500	76.67
	250	0.250	464	2668.29	860.74		-	
	300	0.300	552	3170.50	1022.74	1700	1900	89.47
	400	0.400	740	4243.40	1368.84		-	
	500	0.500	1035	5926.93	1911.91		-	



CBR	δ_s (kg/m ³)
14.92	1651.87
46.46	1896.81
76.67	2013.39

δ_s opt (kg/m ³)	2075
-------------------------------------	------



CBR al 100% Compactación =	76.67	DENSIDAD SECA AL 100 % =	2013.39
CBR al 95% Compactación =		DENSIDAD SECA AL 95 % =	

PROCTOR MODIFICADO

GRANULOMETRÍA

Agregado Grueso		
Tamiz #	Diametro (mm)	Cant. Retenida (gr)
3/4	19.1	3507.5
1/2	12.7	3446
3/8	9.52	2910
#4	4.76	4299
Agregado Fino		
Pasante #4	-	5428.5

1) Proporción de Agregados Gruesos y finos:

Cant. Ag. Grueso =	14162.5	gr
Cant. Ag. Fino =	5428.5	gr
Cant. Total Muestra =	19591	gr
% Ag. Grueso =	72.29	%
% Ag. Fino =	27.71	%
Muestra Ensayo =	5500	gr
Ag. Grueso =	3976.00	gr
Ag. Fino =	1219.20	gr
Ag Escoria 20% =	304.80	gr

2) Cálculo del Porcentaje de Humedad:

Wt =	85.1	gr
Wt + Th =	194.33	gr
Wt + Ts =	187.67	gr

FÓRMULA:

$$\%H = \frac{(Wt + Th) - (Wt + Ts)}{(Wt + Ts) - Wt} * 100$$

$$\% H = 6.49 \quad \%$$

3) Cálculo del Peso Seco Fino:

FÓRMULA:

$$W_s = \frac{Ag\ Fino}{1 + \frac{\%H}{100}}$$

$$W_s = 1431.08 \quad gr$$

4) Cálculo de la Cantidad de Agua inicial:

FÓRMULA:

$$W_w = \frac{\%H * W_s}{100}$$

$$W_w = 92.92 \quad cm^3$$

4) Cálculo de la Cantidad de Agua de Aumentar:

Tabla de Cantidad de Agua

% H real	% Aparente	Cant Agua (cm3)	
6.49	0	0	0
9.49	3	135.85	140
12.49	6	178.79	180
15.49	9	221.72	225
18.49	12	264.65	270
21.49	15	307.58	310
24.49	18	350.52	355
27.49	21	393.45	400
30.49	24	436.38	440
33.49	27	479.31	480
36.49	30	522.25	525
39.49	31	565.18	570

FÓRMULA:

$$W_w = \frac{\%H Real * Ag. Fino}{100}$$

5) Cálculo de la Densidad de Compactación:

Nº Muestra	1	2	3	4
------------	---	---	---	---

% H real	12.49	21.49	33.49
Cant. Agua (cm ³)	180	310	480
Volúmen Cilindro (cm ³)	2151.09		
Peso Cilindro (Wc) (gr)	6592		
Peso Compactado (Wc+M) (gr)	11055.5	11345	11360

HUMEDADES							
Nº Muestra	1		2		3		4
Nº Tarro	D6	A6	21	T3	S12	18	
Wt (gr)	52.7	43.6	43	67.5	64.9	66.1	
Wt + Th (gr)	199.78	185.83	274.87	214.32	223.21	230.29	
Wt + Ts (gr)	194.27	180.32	261.39	203.85	207.77	220.27	
% H	3.89	4.03	6.17	7.68	10.81	6.50	
% H prom.	3.96		6.93		8.65		

% H calc. =	6.513	%
-------------	-------	---

DENSIDADES HUMEDAS CALCULADAS				
Nº Muestra	1	2	3	4
δ (gr/cm ³)	2.07	2.21	2.22	
δ (kg/m ³)	2074.99	2209.58	2216.55	

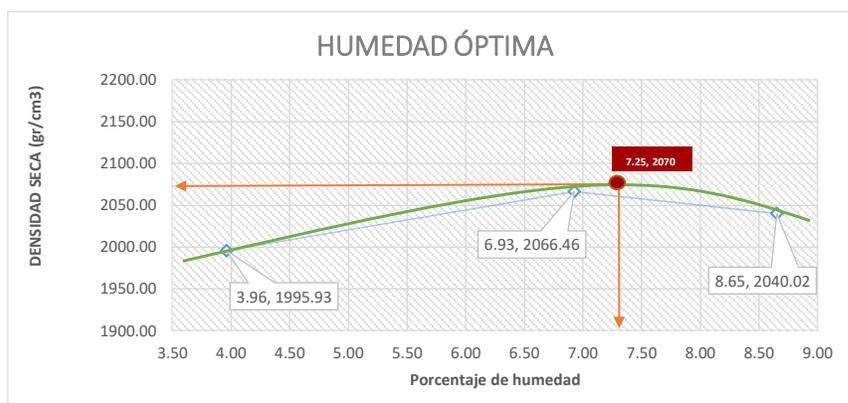
DENSIDADES SECAS CALCULADAS				
Nº Muestra	1	2	3	4
δs (gr/cm ³)	1.84	1.82	1.66	
δs (kg/m ³)	1844.55	1818.69	1660.42	

DENSIDADES HUMEDAS REAL				
Nº Muestra	1	2	3	4
δ (gr/cm ³)	2.07	2.21	2.22	
δ (kg/m ³)	2074.99	2209.58	2216.55	

DENSIDADES SECAS REALES				
Nº Muestra	1	2	3	4
δs (gr/cm ³)	2.00	2.07	2.04	
δs (kg/m ³)	1995.93	2066.46	2040.02	

6) Cálculo de la Humeda Óptima:

% H real	δs (kg/m ³)
3.96	1995.93
6.93	2066.46
8.65	2040.02



RESULTADO		
%H opt =	7.25	%
δs max (kg/m ³)	2070	kg/m ³

CBR

GRANULOMETRÍA

Tamiz #	Agregado Grueso	
	Diametro (mm)	Cant. Retenida (gr)
3/4	19.1	3507.5
1/2	12.7	3446
3/8	9.52	2910
#4	4.76	4299
Agregado Fino		
Pasante #4	-	5428.5

1) Proporción de Agregados Gruesos y finos:

Cant. Ag. Grueso =	14162.5	gr
Cant. Ag. Fino =	5428.5	gr
Cant. Total Muestra =	19591	gr
% Ag. Grueso =	72.29	%
% Ag. Fino =	27.71	%
Muestra Ensayo =	5500	gr
Ag. Grueso =	3976.00	gr
Ag. Fino =	1219.20	gr
Ag. Escoria 20% =	304.80	gr

2) Proporción de cantidad de agua por añadir:

SE INFIERE QUE, DEBIDO A QUE ES EL MISMO MATERIAL, SE UTILIZARÁ LA MISMA CANTIDAD DE AGUA DETERMINADA EN EL ENSAYO CBR DE BASE SIN MODIFICACIÓN, PARA DETERMINAR ASÍ, SU VARIACIÓN

			CANTIDAD DE AGUA			
WH+T	266.8	gr	WS	5294.67	5500	gr
WS+T	261.05	gr	Ww_1	318.84	1	%
WT	112.78	gr	Ww_1,5	345.32	1.5	%
%W	3.88	%	Ww_2	371.79	2	%
Wopt	8.9	%	Ww = 345.32 cc			

FORMULA

$$Ww = \frac{\left(\%H_{optima} - \%H + \left(\frac{\sum \%H \text{ real usado}}{\# \text{ datos}} \right) \right) * W_{seco}}{100}$$

$$Cc \text{ real} = 345.00 \text{ cm}^3$$

3) Cálculo del Porcentaje de Humedad:

ANTES DEL REMOJO

MOLDE CBR							Unidad	FÓRMULAS
	2	12	25					
RECIPIENTE	1B	15	D7	T05	9	13		
Peso Humedo + Tarro (Wh+T)	238.29	246.42	186.72	150.49	175.9	167		$Ws = (Ws + T) - Wt$
Peso Seco + Tarro (Ws+T)	228.33	236.41	178.8	142.51	168.22	159.57		$Wa = (Wh + T) - (Ws + T)$
Peso Tarro (Wt)	66	67.8	44.24	25.05	29.35	29.4	gr	
Peso Seco (Ws)	162.33	168.61	134.56	117.46	138.87	130.17		$\%H = \frac{(Wh + T) - (Ws + T)}{(Ws + T) - Wt} * 100$
Peso Agua (Wa)	9.96	10.01	7.92	7.98	7.68	7.43		
Porcentaje de Humedad (%H)	6.14	5.94	5.89	6.79	5.53	5.71	%	$\%H_{prom} = \frac{\sum \%H}{\# \text{ muestras}}$
Promedio de Porcentaje de Humedad (%Hprom)	6.04		6.34		5.62			

4) ESPONJAMIENTO DEL MATERIAL DESPUÉS DE 4 DÍAS EN AGUA Y COMPACTADO:

MOLDE 70	No existe esponjamiento	MAYOR PRESENCIA DE
----------	-------------------------	--------------------

MOLDE 56 No existe esponjamiento
 MOLDE 25 No existe esponjamiento

MAJOR PRESENCIA DE
 GRAVAS

5) CÁLCULO DE CARGA EN PRENSA DE CBR:

12 GOLPES				25 GOLPES				56 GOLPES			
MOLDE	DEFOR.	LECTURA CARGA	CARGA REAL (lb)	MOLDE	DEFOR.	LECTURA CARGA	CARGA REAL (lb)	MOLDE	DEFOR.	LECTURA CARGA	CARGA REAL (lb)
	0	0	0		0	0	0		0	0	0
	25	35	220.03		25	38	237.15		25	72	431.19
	50	56	339.88		50	70	419.77		50	135	790.72
	75	76	454.01		75	102	602.39		75	183	1064.65
	100	98	579.57		100	137	802.14		100	242	1401.36
	150	138	807.84		150	204	1184.50		150	321	1852.20
	200	186	1081.77		200	268	1549.74		200	405	2331.58
	250	223	1292.93		250	325	1875.03		250	495	2845.21
	300	263	1521.20		300	384	2211.74		300	577	3313.17
	400	372	2143.26		400	515	2959.34		400	768	4403.19
	500	428	2462.84		500	613	3518.62		500	932	5339.12

DESPUES DEL REMOJO

MOLDE CBR	2	12	25	Unidad	FÓRMULAS		
RECIPIENTE	21	T12	15	02K	S12	1B	
Peso Humedo + Tarro (Wh+T)	251.93	178.33	246.06	193.21	280.49	218.95	$Ws = (Ws + T) - Wt$
Peso Seco + Tarro (Ws+T)	239.07	168.8	234.33	181.26	265.16	208.87	$Wa = (Wh + T) - (Ws + T)$
Peso Tarro (Wt)	70	36.35	67.46	43.35	64.71	65.91	
Peso Seco (Ws)	169.07	132.45	166.87	137.91	200.45	142.96	$\%H = \frac{(Wh + T) - (Ws + T)}{(Ws + T) - Wt} * 100$
Peso Agua (Wa)	12.86	9.53	11.73	11.95	15.33	10.08	
Porcentaje de Humedad (%H)	7.61	7.20	7.03	8.67	7.65	7.05	$\%H_{prom} = \frac{\sum \%H}{\# \text{muestras}}$
Promedio de Porcentaje de Humedad (%Hprom)	7.40		7.85		7.35		

6) DATOS DE LOS MOLDES:

ANTES DEL REMOJO				DESPUES DEL REMOJO			
MOLDE	2	12	25	MOLDE	2	12	25
Wm+T(gr)	11712.5	11788	11897.5	Wm+T(gr)	11710.5	11791.5	11935
Wm (gr)	7284.5	6961.5	6727	Wm (gr)	7284.5	6961.5	6727
Volúmen (cm3)	2384.19	2384.19	2384.19	Volúmen (cm3)	2384.19	2384.19	2384.19

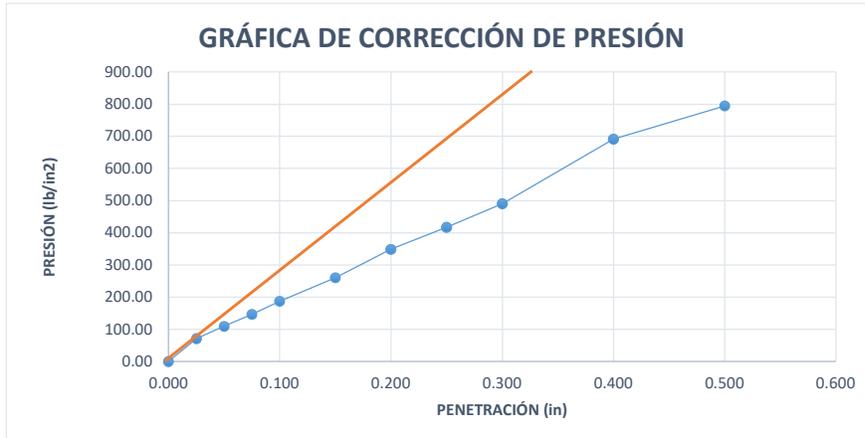
DENSIDADES HUMEDAS CALCULADAS			
Nº Muestra	70	56	25
δ (gr/cm3)	1.86	2.02	2.17
δ (kg/m3)	1857.23	2024.38	2168.66

DENSIDADES SECAS CALCULADAS			
Nº Muestra	70	56	25
δs (gr/cm3)	1.75	1.90	2.05
δs (kg/m3)	1751.51	1903.69	2053.28

12 GOLPES

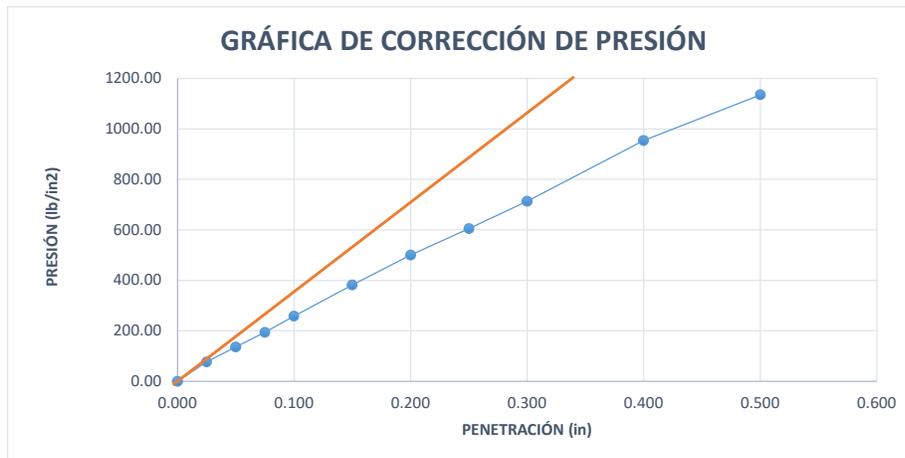
MOLDE	DEFOR.	DEFOR. (in)	LECTURA CARGA	CARGA REAL (lb)	PRESIÓN (lb/in2)	PRESIÓN CORRIG.	PRESIÓN ESTÁNDAR	CBR
	0	0.000	0	0.00	0.00		-	

	25	0.025	35	220.03	70.98	-		
	50	0.050	56	339.88	109.64	-		
	75	0.075	76	454.01	146.46	-		
25	100	0.100	98	579.57	186.96	186.96	1000	18.70
	150	0.150	138	807.84	260.59	-	-	-
	200	0.200	186	1081.77	348.96	348.96	1500	23.26
	250	0.250	223	1292.93	417.07	-	-	-
	300	0.300	263	1521.20	490.71	490.71	1900	25.83
	400	0.400	372	2143.26	691.37	-	-	-
	500	0.500	428	2462.84	794.47	-	-	-



25 GOLPES

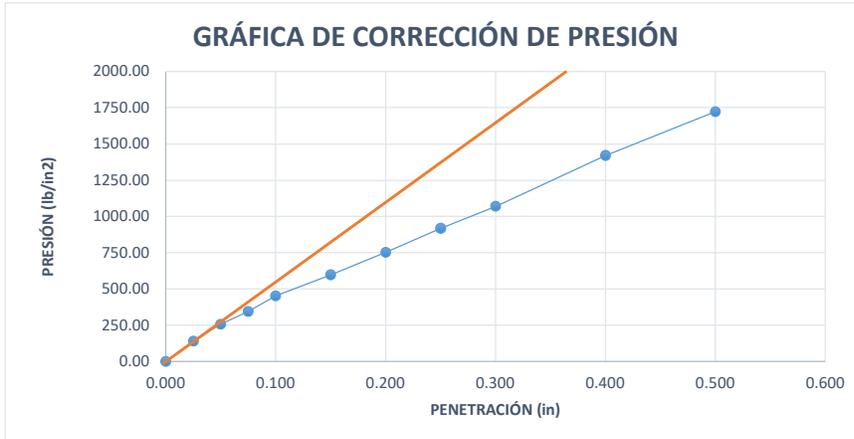
MOLDE	DEFOR.	DEFOR. (in)	LECTURA CARGA	CARGA REAL (lb)	PRESIÓN (lb/in²)	PRESIÓN CORRIG.	PRESIÓN ESTÁNDAR	CBR
	0	0.000	0	0.00	0.00	-	-	-
	25	0.025	38	237.15	76.50	-	-	-
	50	0.050	70	419.77	135.41	-	-	-
	75	0.075	102	602.39	194.32	-	-	-
56	100	0.100	137	802.14	258.75	258.75	1000	25.88
	150	0.150	204	1184.50	382.10	-	-	-
	200	0.200	268	1549.74	499.92	499.92	1500	33.33
	250	0.250	325	1875.03	604.85	-	-	-
	300	0.300	384	2211.74	713.46	713.46	1900	37.55
	400	0.400	515	2959.34	954.63	-	-	-
	500	0.500	613	3518.62	1135.04	-	-	-



56 GOLPES

MOLDE	DEFOR.	DEFOR. (in)	LECTURA CARGA	CARGA REAL (lb)	PRESIÓN (lb/in²)	PRESIÓN CORRIG.	PRESIÓN ESTÁNDAR	CBR
-------	--------	-------------	---------------	-----------------	------------------	-----------------	------------------	-----

	0	0.000	0	0	0.00	-		
	25	0.025	72	431.19	139.09	-		
	50	0.050	135	790.72	255.07	-		
	75	0.075	183	1064.65	343.44	-		
70	100	0.100	242	1401.36	452.05	452.05	1000	45.21
	150	0.150	321	1852.20	597.49	-	-	-
	200	0.200	405	2331.58	752.12	752.12	1500	50.14
	250	0.250	495	2845.21	917.81	-	-	-
	300	0.300	577	3313.17	1068.76	3313.17	1900	174.38
	400	0.400	768	4403.19	1420.38	-	-	-
	500	0.500	932	5339.12	1722.30	-	-	-



CBR	δs (kg/m³)
23.26	1751.51
33.33	1903.69
50.14	2053.28

δs opt (kg/m³)
2070



CBR al 100% Compactación =	50.14	DENSIDAD SECA AL 100 % =	2053.28
CBR al 95% Compactación =		DENSIDAD SECA AL 95 % =	

PROCTOR MODIFICADO

GRANULOMETRÍA

Tamiz #	Agregado Grueso	
	Diametro (mm)	Cant. Retenida (gr)
3/4	19.1	3507.5
1/2	12.7	3446
3/8	9.52	2910
#4	4.76	4299
Agregado Fino		
Pasante #4	-	5428.5

1) Proporción de Agregados Gruesos y finos:

Cant. Ag. Grueso =	14162.5	gr
Cant. Ag. Fino =	5428.5	gr
Cant. Total Muestra =	19591	gr
% Ag. Grueso =	72.29	%
% Ag. Fino =	27.71	%
Muestra Ensayo =	5500	gr
Ag. Grueso =	3976.00	gr
Ag. Fino =	1143.00	gr
Ag Escoria 25% =	381.00	gr

2) Cálculo del Porcentaje de Humedad:

Wt =	85.05	gr
Wt + Th =	185.34	gr
Wt + Ts =	180.09	gr

FÓRMULA:

$$\%H = \frac{(Wt + Th) - (Wt + Ts)}{(Wt + Ts) - Wt} * 100$$

$$\% H = 5.52 \quad \%$$

3) Cálculo del Peso Seco Fino:

FÓRMULA:

$$Ws = \frac{Ag\ Fino}{1 + \frac{\%H}{100}}$$

$$Ws = 1444.22 \quad gr$$

4) Cálculo de la Cantidad de Agua inicial:

FÓRMULA:

$$Ww = \frac{\%H * Ws}{100}$$

$$Ww = 79.78 \quad cm3$$

4) Cálculo de la Cantidad de Agua de Aumentar:

Tabla de Cantidad de Agua			
% H real	% Aparente	Cant Agua (cm3)	
5.52	0	0	0
8.52	3	123.11	125
11.52	6	166.43	170
14.52	9	209.76	210
17.52	12	253.09	255
20.52	15	296.41	300
23.52	18	339.74	340
26.52	21	383.07	390
29.52	24	426.39	430
32.52	27	469.72	475
35.52	30	513.05	515
38.52	31	556.37	560

FÓRMULA:

$$Ww = \frac{\%H Real * Ag. Fino}{100}$$

5) Cálculo de la Densidad de Compactación:

N° Muestra	1	2	3	4
% H real	14.52	23.52	32.52	
Cant. Agua (cm3)	210	340	475	
Volúmen Cilindro (cm3)	2151.09			
Peso Cilindro (Wc) (gr)	6592			
Peso Compactado (Wc+M) (gr)	11057.5	11400	11409.5	

HUMEDADES						
N° Muestra	1		2		3	4
N° Tarro	31	S6	T05	T08	9	13
Wt (gr)	43	66	25.2	35.5	29.25	29.16
Wt + Th (gr)	161.53	205.18	136.7	144.25	176.46	168.56
Wt + Ts (gr)	155.74	198.36	128.82	135.75	164.35	156.42
% H	5.14	5.15	7.60	8.48	8.96	9.54
% H prom.	5.14		8.04		9.25	

% H calc. =	5.609	%
-------------	-------	---

DENSIDADES HUMEDAS CALCULADAS				
N° Muestra	1	2	3	4
δ (gr/cm3)	2.08	2.24	2.24	
δ (kg/m3)	2075.92	2235.15	2239.56	

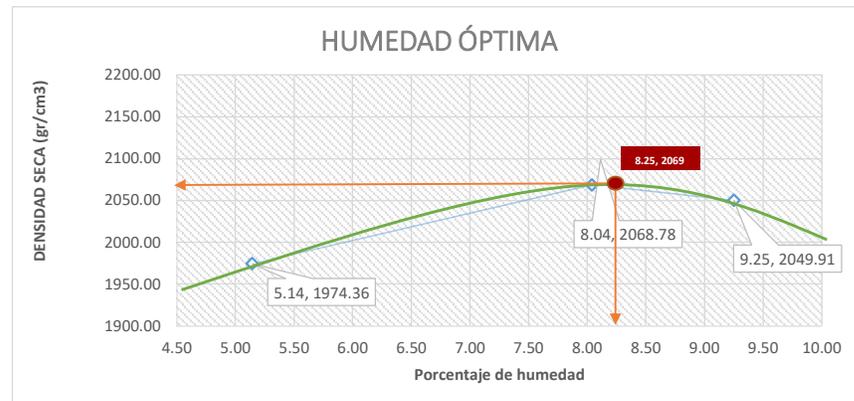
DENSIDADES SECAS CALCULADAS				
N° Muestra	1	2	3	4
δ_s (gr/cm3)	1.81	1.81	1.69	
δ_s (kg/m3)	1812.65	1809.48	1689.93	

DENSIDADES HUMEDAS REAL				
N° Muestra	1	2	3	4
δ (gr/cm3)	2.08	2.24	2.24	
δ (kg/m3)	2075.92	2235.15	2239.56	

DENSIDADES SECAS REALES				
N° Muestra	1	2	3	4
δ_s (gr/cm3)	1.97	2.07	2.05	
δ_s (kg/m3)	1974.36	2068.78	2049.91	

6 Cálculo de la Humeda Óptima:

% H real	δ_s (kg/m3)
5.14	1974.36
8.04	2068.78
9.25	2049.91



RESULTADO		
%H opt =	8.25	%
δ_s max (kg/m3)	2069	kg/m3

25	28	180.08	25	39	242.86	25	69	414.07
50	52	317.05	50	59	357.00	50	123	722.24
75	76	454.01	75	92	545.32	75	174	1013.29
100	102	602.39	100	131	767.89	100	226	1310.05
150	155	904.86	150	208	1207.33	150	276	1595.39
200	204	1184.50	200	286	1652.46	200	382	2200.33
250	255	1475.55	250	353	2034.83	250	473	2719.65
300	301	1738.07	300	427	2457.14	300	559	3210.45
400	403	2320.17	400	570	3273.22	400	747	4283.34
500	492	2828.08	500	714	4095.02	500	1063	6086.72

DESPUES DEL REMOJO

MOLDE CBR	6		8		56		Unidad	FÓRMULAS
RECIPIENTE	A3	T2	13	M	S11	26		
Peso Humedo + Tarro (Wh+T)	180.54	171.72	203.01	256.56	163.85	130.18		$Ws = (Ws + T) - Wt$
Peso Seco + Tarro (Ws+T)	170.65	160.7	189.48	238.99	153.66	121.6	gr	$Wa = (Wh + T) - (Ws + T)$
Peso Tarro (Wt)	53.04	43.06	53.04	43.01	29.1	29.15		$\%H = \frac{(Wh + T) - (Ws + T)}{(Ws + T) - Wt} * 100$
Peso Seco (Ws)	117.61	117.64	136.44	195.98	124.56	92.45		$\%H_{prom} = \frac{(\sum \%H)}{\# \text{muestras}}$
Peso Agua (Wa)	9.89	11.02	13.53	17.57	10.19	8.58		
Porcentaje de Humedad (%H)	8.41	9.37	9.92	8.97	8.18	9.28	%	
Promedio de Porcentaje de Humedad (%Hprom)	8.89		9.44		8.73			

6) DATOS DE LOS MOLDES:

	ANTES DEL REMOJO		
MOLDE	6	8	56
Wm+T(gr)	11923	11768	11435
Wm (gr)	7335.5	6859	6300
Volúmen (cm3)	2353.33	2353.33	2353.33

	DESPUES DEL REMOJO		
MOLDE	6	8	56
Wm+T(gr)	11957	11813	11471.5
Wm (gr)	7335.5	6859	6300
Volúmen (cm3)	2353.33	2353.33	2353.33

DENSIDADES HUMEDAS CALCULADAS

Nº Muestra	70	56	25
δ (gr/cm3)	1.95	2.09	2.18
δ (kg/m3)	1949.37	2085.98	2182.02

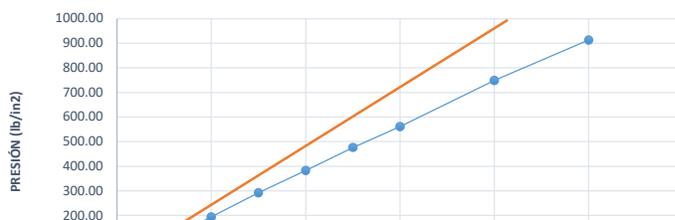
DENSIDADES SECAS CALCULADAS

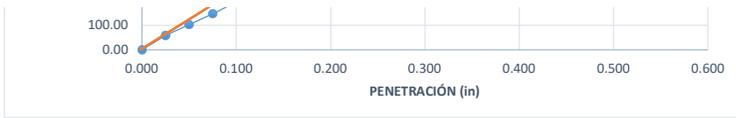
Nº Muestra	70	56	25
δs (gr/cm3)	1.83	1.95	2.04
δs (kg/m3)	1829.75	1948.79	2043.15

12 GOLPES

MOLDE	DEFOR.	DEFOR. (in)	LECTURA CARGA	CARGA REAL (lb)	PRESIÓN (lb/in2)	PRESIÓN CORRIG.	PRESIÓN ESTÁNDAR	CBR
	0	0.000	0	0.00	0.00	-	-	
	25	0.025	28	180.08	58.09	-	-	
	50	0.050	52	317.05	102.27	-	-	
	75	0.075	76	454.01	146.46	-	-	
25	100	0.100	102	602.39	194.32	194.32	1000	19.43
	150	0.150	155	904.86	291.89	-	-	
	200	0.200	204	1184.50	382.10	382.10	1500	25.47
	250	0.250	255	1475.55	475.98	-	-	
	300	0.300	301	1738.07	560.67	560.67	1900	29.51
	400	0.400	403	2320.17	748.44	-	-	
	500	0.500	492	2828.08	912.29	-	-	

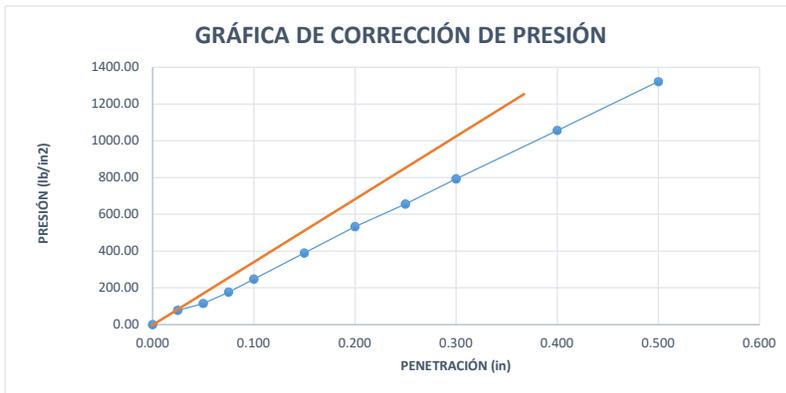
GRÁFICA DE CORRECCIÓN DE PRESIÓN





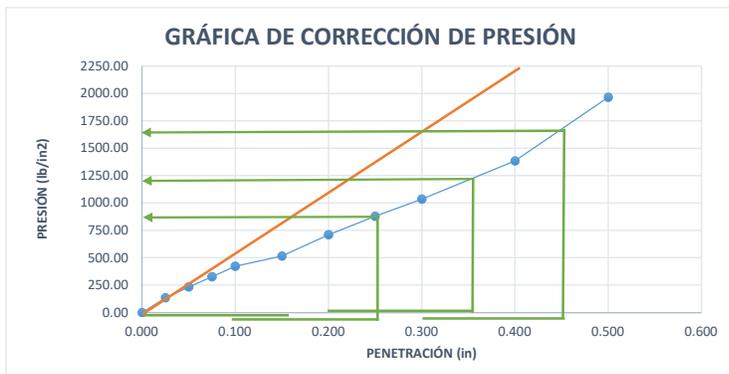
25 GOLPES

MOLDE	DEFOR.	DEFOR. (in)	LECTURA CARGA	CARGA REAL (lb)	PRESIÓN (lb/in²)	PRESIÓN CORRIG.	PRESIÓN ESTÁNDAR	CBR
56	0	0.000	0	0.00	0.00	-	-	-
	25	0.025	39	242.86	78.34	-	-	-
	50	0.050	59	357.00	115.16	-	-	-
	75	0.075	92	545.32	175.91	-	-	-
	100	0.100	131	767.89	247.71	247.71	1000	24.77
	150	0.150	208	1207.33	389.46	-	-	-
	200	0.200	286	1652.46	533.05	533.05	1500	35.54
	250	0.250	353	2034.83	656.40	-	-	-
	300	0.300	427	2457.14	792.62	792.62	1900	41.72
	400	0.400	570	3273.22	1055.88	-	-	-
	500	0.500	714	4095.02	1320.97	-	-	-



56 GOLPES

MOLDE	DEFOR.	DEFOR. (in)	LECTURA CARGA	CARGA REAL (lb)	PRESIÓN (lb/in²)	PRESIÓN CORRIG.	PRESIÓN ESTÁNDAR	CBR
70	0	0.000	0	0	0.00	-	-	-
	25	0.025	69	414.07	133.57	-	-	-
	50	0.050	123	722.24	232.98	-	-	-
	75	0.075	174	1013.29	326.87	-	-	-
	100	0.100	226	1310.05	422.60	422.60	1000	42.26
	150	0.150	276	1595.39	514.64	-	-	-
	200	0.200	382	2200.33	709.78	709.78	1500	47.32
	250	0.250	473	2719.65	877.31	-	-	-
	300	0.300	559	3210.45	1035.63	1035.63	1900	54.51
	400	0.400	747	4283.34	1381.72	-	-	-
	500	0.500	1063	6086.72	1963.46	-	-	-



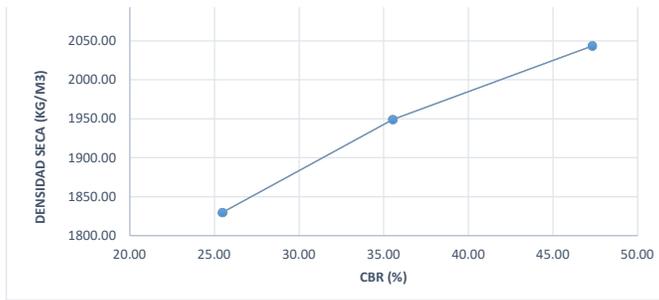
VALORES CBR

CBR δs (kg/m3)

2100.00

25.47	1829.75
35.54	1948.79
47.32	2043.15

δ_s opt (kg/m³)
2069



CBR al 100% Compactación =	47.32	DENSIDAD SECA AL 100 % =	2043.15
CBR al 95% Compactación =		DENSIDAD SECA AL 95 % =	1940.99

6.5. ANEXO E: RESULTADOS Y COMPARACIÓN.

CANTIDADES ANALIZADAS

%	ESCORIA (gr)	AG. FINO (gr)	AG. GRUESO (gr)	TOTAL
5	76.20	1447.80		5500.00
10	152.40	1371.60		5500.00
15	228.60	1295.40	3976.00	5500.00
20	304.80	1219.20		5500.00
25	381.00	1143.00		5500.00

PORCENTAJE DE HUMEDAD CBR

#	PORCENTAJES				
MUESTRA	5%	10%	15%	20%	25%
1	6.51	5.85	7.41	6.04	6.54
2	5.47	5.66	6.59	6.34	7.04
3	5.78	5.84	6.43	5.62	6.80

DENSIDAD SECAS δ_s (gr/cm³)

#	PORCENTAJES				
MUESTRA	5%	10%	15%	20%	25%
1	1.68	1.76	1.65	1.75	1.83
2	1.87	1.86	1.90	1.90	1.95
3	1.99	1.98	2.01	2.05	2.04

DENSIDAD ÓPTIMA δ_s opt (kg/m³)

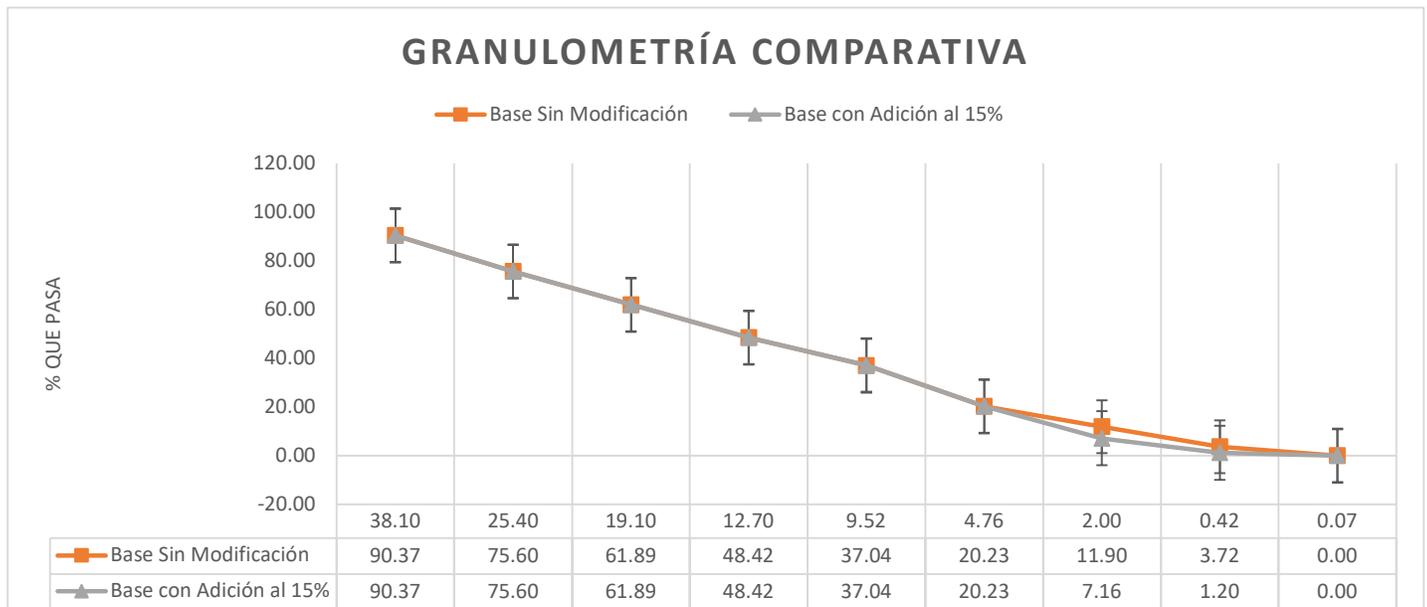
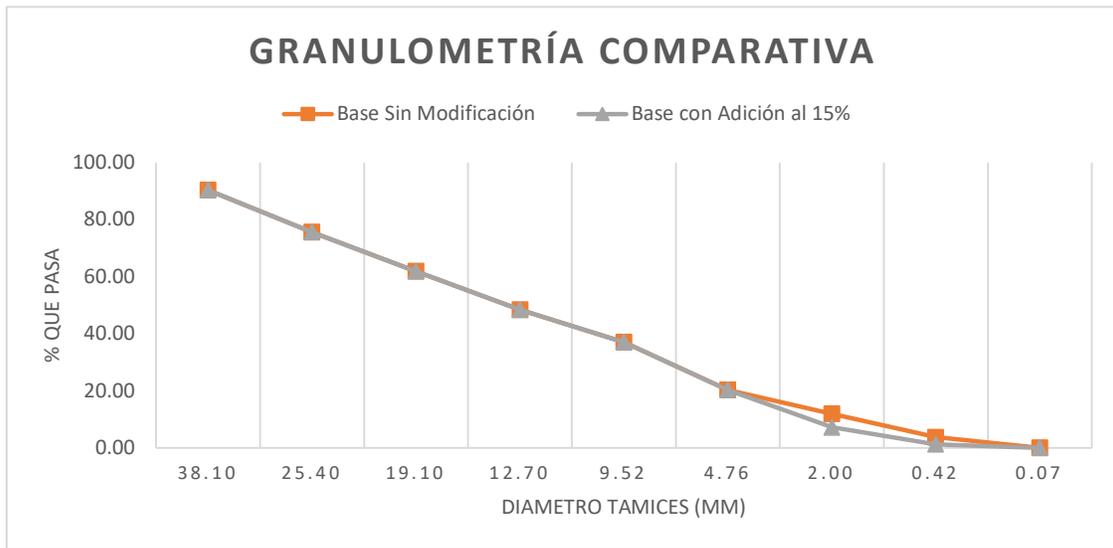
PORCENTAJES				
5%	10%	15%	20%	25%
2120	2090	2075	2070	2069

CBR %

PORCENTAJES				
5%	10%	15%	20%	25%
83.00	82.67	76.67	50.14	47.32

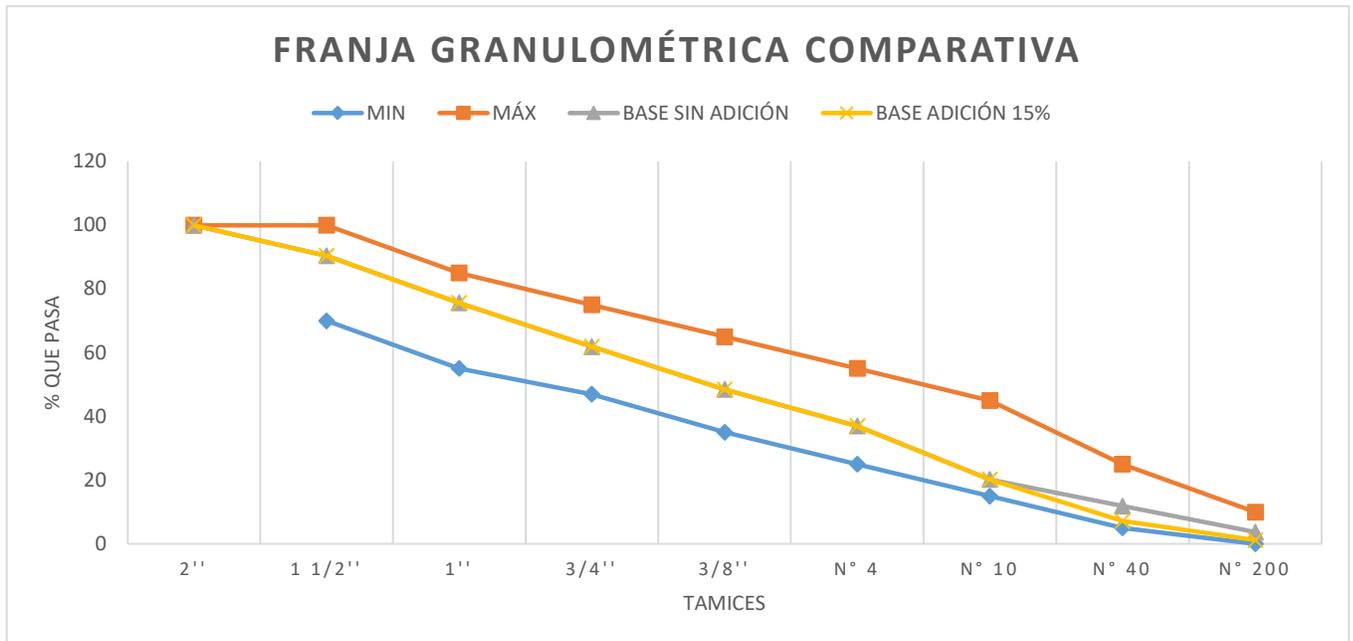
GRANULOMETRÍA

BASE SIN MODIFICACIÓN			BASE CON ESCORIA AL 15% DE ADICIÓN		
#Tamiz	Diametro (mm)	%Pasa	#Tamiz	Diametro (mm)	%Pasa
1 1/2	38.1	90.37	1 1/2	38.1	90.37
1	25.4	75.60	1	25.4	75.60
3/4	19.1	61.89	3/4	19.1	61.89
1/2	12.7	48.42	1/2	12.7	48.42
3/8	9.52	37.04	3/8	9.52	37.04
#4	4.76	20.23	#4	4.76	20.23
#10	2	11.90	#10	2	7.16
#40	0.42	3.72	#40	0.42	1.20
#200	0.074	0.00	#200	0.074	0.00
FONDO	-		FONDO	-	



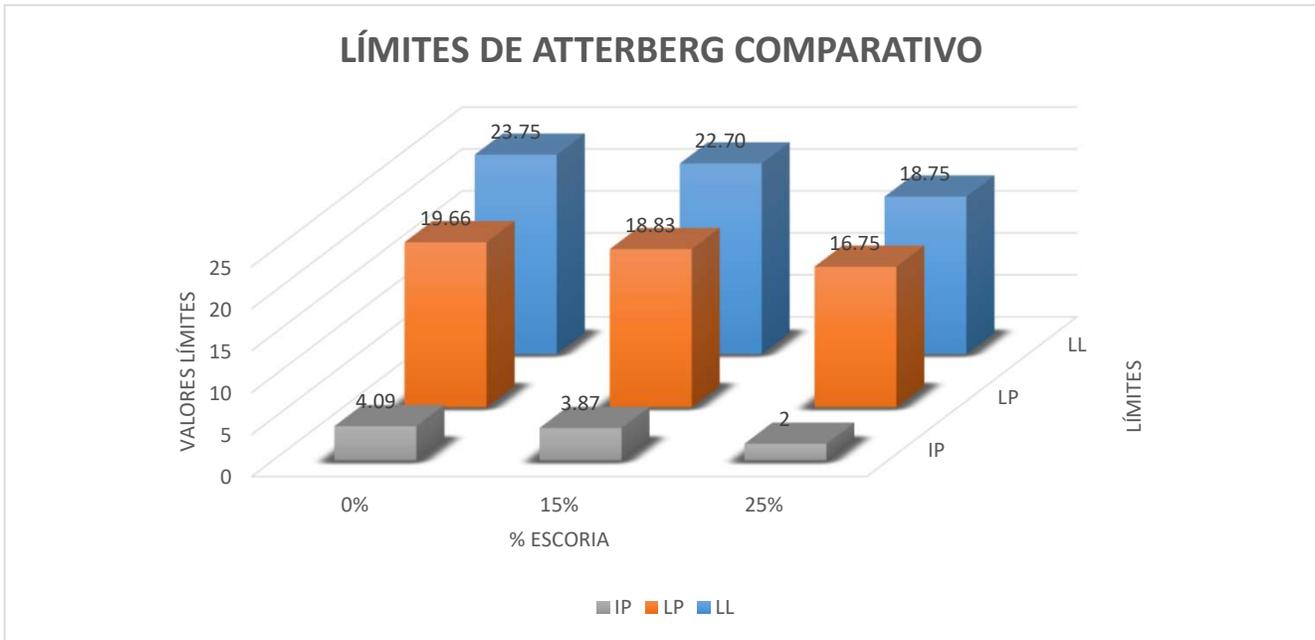
FRANJA GRANULOMÉTRICA CLASE 1-B

TAMICES	MIN	MAX	BASE SIN ADICIÓN	BASE ESCORIA 15%
2"		100	100	100
1 1/2"	70	100	90.37	90.37
1"	55	85	75.60	75.60
3/4"	47	75	61.89	61.89
3/8"	35	65	48.42	48.42
N° 4	25	55	37.04	37.04
N° 10	15	45	20.23	20.23
N° 40	5	25	11.90	7.16
N° 200	0	10	3.72	1.20

**LÍMITES DE ATTERBERG**

TIPO	PORCENTAJE		
	0%	15%	25%
LL	23.75	22.70	18.75
LP	19.66	18.83	16.75
IP	4.09	3.87	2
%	LL	LP	IP

0%	23.75	19.66	4.09
15%	22.70	18.83	3.87
25%	18.75	16.75	2



CLASIFICACIÓN DEL SUELO

MÉTODO AASHTO

Según la clasificación de suelos por el método AASHTO, haciendo uso de los valores calculados de la granulometría, LL, LP e IP, se tiene lo siguiente:

Pertenece al grupo **A-1 (A-1-a)**, dentro de Cantos, grava y arena. Por lo que es un material clasificado como Excelente a bueno

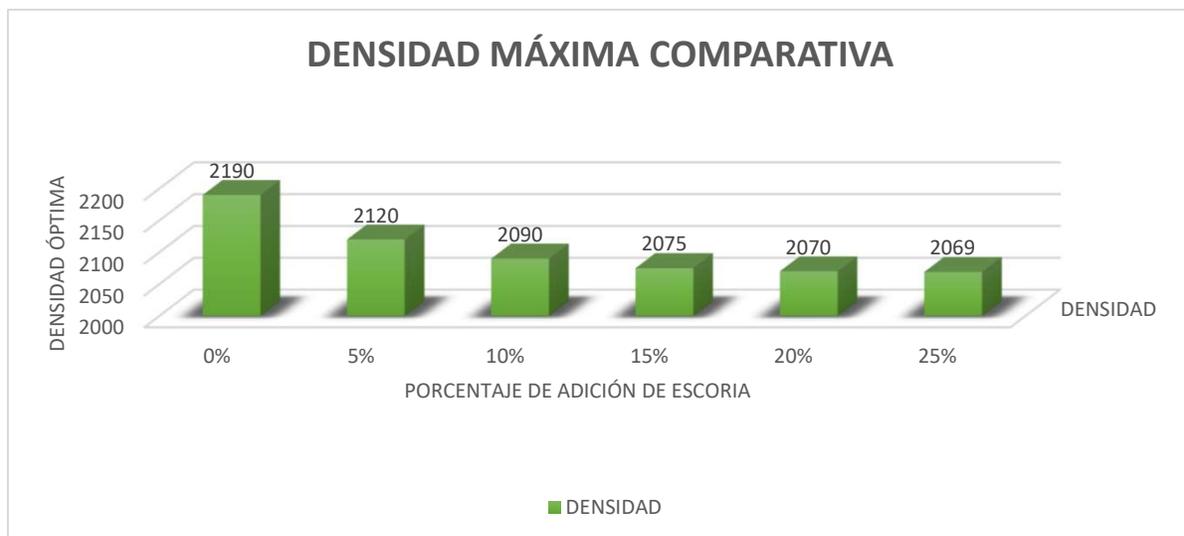
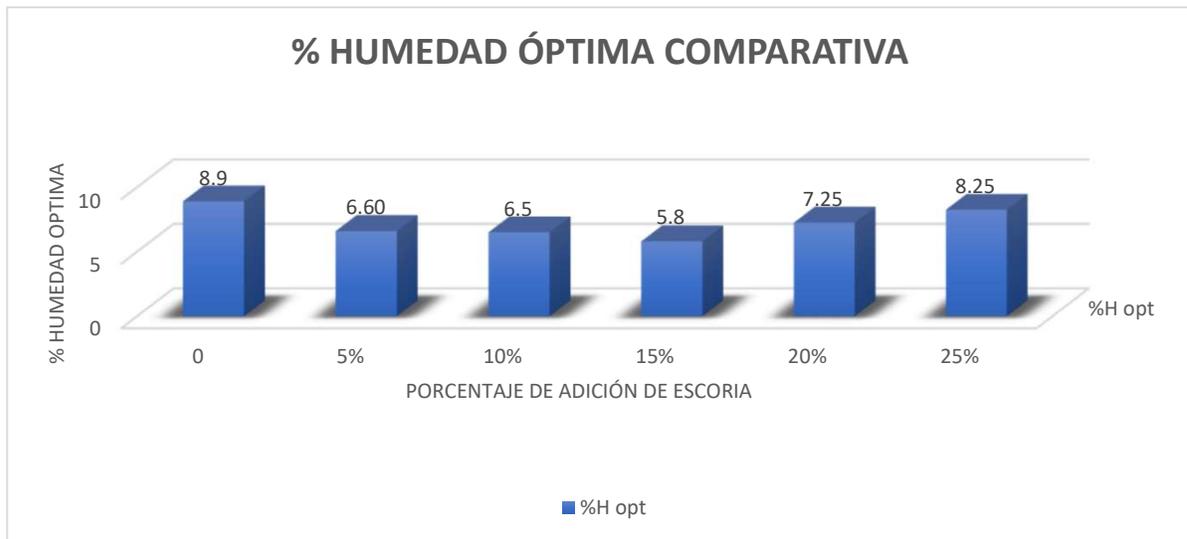
MÉTODO SUCS para suelo Finos

Según la clasificación de suelos por el método SUCS para agregados finos, haciendo uso de los valores calculados de la granulometría LL y LP, se tiene lo siguiente:

GRAVA BIEN GRADUADA CON ARENA GW:
Suelo de partículas gruesas. Suelo limpio

PROCTOR MODIFICADO

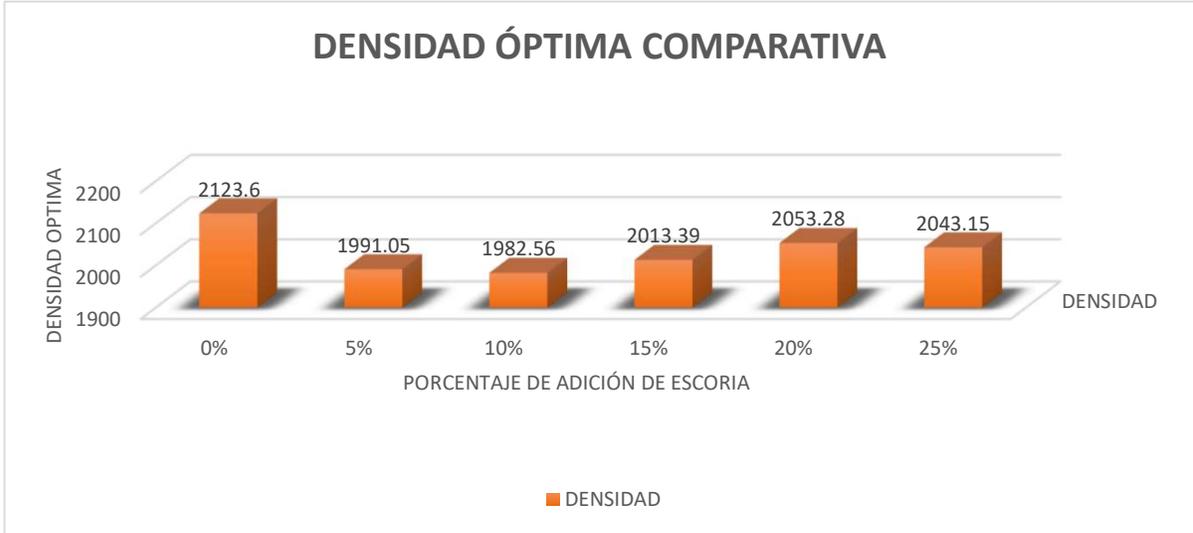
PORCENTAJE	%H opt	Densidad (kg/m3)
0%	8.9	2190
5%	6.60	2120
10%	6.5	2090
15%	5.8	2075
20%	7.25	2070
25%	8.25	2069



CBR

PORCENTAJE	Densidad (kg/m3)	CBR
0%	2123.6	85.33
5%	1991.05	83

10%	1982.56	82.67
15%	2013.39	76.67
20%	2053.28	50.14
25%	2043.15	47.32



AUTORIZACION DE PUBLICACION EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Yo, Luis Felipe Ormaza Chiriboga portador de la cédula de ciudadanía N.º 0105565477. En calidad de autor y titular de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación “Uso de escoria de acero, en mezclas con materiales granulares tipo base producidas en la provincia del Azuay” de conformidad a lo establecido en el artículo 114 Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, reconozco a favor de la Universidad Católica de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos, Así mismo; autorizo a la Universidad para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 12 de mayo de 2023



F:

Luis Felipe Ormaza Chiriboga

0105565477