**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA DE CIVIL**

TRABAJO DE DISERTACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO INGENIERA CIVIL

# TEMA: "COMPARACIÓN TÉCNICA ENTRE LOS ENSAYOS DE LABORATORIO DE MÓDULO DE YOUNG Y CBR PARA BASES Y SUB-BASES, CASO DE ESTUDIO MINA: "DOÑA MECHE", UBICADA EN EL CANTÓN ESMERALDAS PROVINCIA DE ESMERALDAS"

**AUTORA:** MERCEDES MARILYN MENESES MESÍAS

**DIRECTOR:** ING. GUSTAVO YANEZ.

**QUITO, 2023**

# TABLA DE CONTENIDO

TABLA DE CONTENIDO ..... iii
ÍNDICE DE TABLAS ..... vi
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES ..... xi
ÍNDICE DE MAPAS ..... xvii
ÍNDICE DE ANEXOS ..... xviii
1 CAPÍTULO I: GENERALIDADES ..... 1
1.1 Introducción ..... 1
1.2 Antecedentes ..... 2
1.3 Justificación ..... 3
1.4 Planteamiento del problema ..... 3
1.5 Objetivos ..... 4
1.5.1 Objetivo general ..... 4
1.5.2 Objetivos específicos ..... 4
2 CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO ..... 6
2.1 Descripción de la mina ..... 6
2.2 Capas granulares de la estructura del pavimento ..... 7
2.2.1 Base ..... 8
2.2.2 Subbase ..... 8
2.3 Ensayos de laboratorio ..... 9
2.3.1 Muestreo de los agregados ..... 9
2.3.2 Cuarteo de los agregados ..... 11
2.3.3 Granulometría ..... 13

2.3.4 Clasificación del suelo según AASHTO Y SUCS ..... 14
2.3.5 Gravedad específica ..... 17
2.3.6 Contenido orgánico ..... 17
2.3.7 Equivalente de arena ..... 18
2.3.8 Desgaste a la abrasión de los agregados ..... 19
2.3.9 Durabilidad de los agregados a la acción de los sulfatos ..... 19
2.3.10 California Bearing Ratio (CBR) ..... 20
2.3.11 Módulo de Young ..... 21
3 CAPÍTULO III: RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE LABORATORIO ..... 23
3.1 Granulometría de agregados ..... 23
3.1.1 Granulometría base ..... 26
3.2 Clasificación de los suelos según AASHTO y SUCS ..... 37
3.3 Gravedad específica ..... 38
3.3.1 Gravedad específica de finos ..... 38
3.3.2 Gravedad específica de gruesos ..... 39
3.4 Contenido orgánico ..... 39
3.5 Equivalente de arena ..... 39
3.6 Desgaste a la abrasión de los agregados en la máquina de los Ángeles ..... 40
3.6.1 Porcentaje de desgaste a la abrasión de base ..... 40
3.6.2 Porcentaje de desgaste a la abrasión de subbase ..... 40
3.7 Durabilidad de los agregados a la acción de los sulfatos ..... 41
3.7.1 Durabilidad de los agregados a la acción de los Sulfatos de agregado grueso ..... 41

3.7.2 Durabilidad de los agregados a la acción de los sulfatos de agregado fino ……42
3.8 CBR (California Bearing Ratio)..... 42
3.8.1 Proctor modificado base..... 42
3.8.2 Proctor modificado subbase ..... 50
3.9 Módulo de Young ..... 100
4 CAPÍTULO IV: CORRELACIÓN DEL CBR Y EL MÓDULO RESILIENTE . 105
4.1 Correlación del CBR y el Módulo Resiliente para Bases ..... 105
4.2 Correlación del CBR y el Módulo Resiliente para Sub-Bases..... 106
5 CAPÍTULO V: DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE, EJERCICIO DE APLICACIÓN 108
5.1 Diseño basado en el método tradicional AASHTO-93 ..... 114
5.2 Diseño realizado mediante la correlación encontrada..... 123
5.2.1 Comparación de resultados ..... 131
6 CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES ..... 132
6.1 Conclusiones ..... 132
6.2 RECOMENDACIONES ..... 133
7 BIBLIOGRAFÍA ..... 134
8 ANEXOS 137

# ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1 *Tamaño de muestras* ..... 11

Tabla 2-2 *Tamices y el tamaño de sus aberturas* ..... 14

Tabla 2-3 *Comparador de color normalizado* ..... 17

Tabla 2-4 *Especificaciones para la carga* ..... 19

Tabla 3-1 *Granulometría de la base correspondiente a la mina "Doña Meche"* ..... 23

Tabla 3-2 *Granulometría de la sub-base correspondiente a la mina "Doña Meche"* ..... 25

Tabla 3-3 *Granulometría de la base clase 1A* ..... 26

Tabla 3-4 *Granulometría de la base clase 2* ..... 28

Tabla 3-5 *Granulometría de la base clase 3* ..... 30

Tabla 3-6 *Granulometría de la base clase 4* ..... 31

Tabla 3-7 *Granulometría de sub-base clase 1* ..... 33

Tabla 3-8 *Granulometría de la sub-base clase 2* ..... 34

Tabla 3-9 *Granulometría de la sub-base clase 3* ..... 36

Tabla 3-10 *Resultados de clasificación de suelos mina "Doña Meche"* ..... 37

Tabla 3-11 *Resultados de clasificación de suelos- mina "Doña Meche"* ..... 38

Tabla 3-12 *Gravedad especifica agregado fino-mina "Doña Meche"* ..... 38

Tabla 3-13 *Gravedad especifica agregado grueso-mina "Doña Meche"* ..... 39

Tabla 3-14 *Resultados ensayo contenido orgánico-mina "Doña Meche"* ..... 39

Tabla 3-15 *Resultados ensayo equivalente de arena-mina "Doña Meche"* ..... 40

Tabla 3-16 *Resultados de desgaste a la abrasión de base-mina "Doña Meche"* ..... 40

Tabla 3-17 *Resultados de desgaste a la abrasión de subbase-mina "Doña Meche"* 41

Tabla 3-18 *Resultado de ensayo de durabilidad a los sulfatos agregado grueso-mina "Doña Meche"* ..... 41

Tabla 3-19 *Resultado de ensayo de durabilidad a los sulfatos agregado fino-mina "Doña Meche"* ..... 42

Tabla 3-20 *Resultado de ensayo Proctor modificado base clase 1A-mina "Doña Meche"* ..... 42

Tabla 3-21 *Resultado de ensayo Proctor modificado base clase 2-mina "Doña Meche"* ..... 44

Tabla 3-22 *Resultado de ensayo Proctor modificado base clase 3- mina "Doña Meche"* ..... 46

Tabla 3-23 *Resultado de ensayo Proctor modificado base clase 4- mina "Doña Meche"* ..... 48

Tabla 3-24 *Resultado de ensayo Proctor modificado subbase clase 1- mina "Doña Meche"* ..... 50

Tabla 3-25 *Resultado de ensayo Proctor modificado subbase clase 2- mina "Doña Meche"* ..... 52

Tabla 3-26 *Resultado de ensayo Proctor modificado subbase clase 3- mina "Doña Meche"* ..... 54

Tabla 3-27 *Tabla de compactación de ensayo CBR para base clase 1A- mina "Doña Meche"* ..... 56

Tabla 3-28 *Tabla de expansión de ensayo CBR para base clase 1A- mina "Doña Meche"* ..... 57

Tabla 3-29 *Tabla de penetración de ensayo CBR para base clase 1A- mina "Doña Meche"* ..... 58

Tabla 3-30 *Valores de CBR obtenidos para base clase 1A de la mina "Doña Meche"* ..... 61

Tabla 3-31 *Tabla de compactación de ensayo CBR para base clase 2- mina "Doña Meche"* ..... 62

Tabla 3-32 *Tabla de expansión de ensayo CBR para base clase 2- mina "Doña Meche"* ..... 63

Tabla 3-33 *Tabla de penetración de ensayo CBR para base clase 2- mina "Doña Meche"* ..... 63

Tabla 3-34 *Valores de CBR obtenidos para base clase 2 de la mina "Doña Meche"* ..... 68

Tabla 3-35 *Tabla de compactación de ensayo CBR para base clase 3- de la mina "Doña Meche".* ..... 69

Tabla 3-36 *Tabla de expansión de ensayo CBR para base clase 3- de la mina "Doña Meche"* ..... 70

Tabla 3-37 *Tabla de penetración de ensayo CBR para base clase 3 de la mina "Doña Meche"* ..... 70

Tabla 3-38 *Valores de C.B.R. obtenidos para base clase 3 de la mina "Doña Meche"* ..... 74

Tabla 3-39 *Tabla de compactación de ensayo CBR para base clase 4 de la mina "Doña Meche"* ..... 75

Tabla 3-40 *Expansión de ensayo CBR para base clase 4 de la mina "Doña Meche"* ..... 76

Tabla 3-41 *Tabla de penetración de ensayo CBR para base clase 4 de la mina "Doña Meche"* ..... 76

Tabla 3-42 *Valores de CBR obtenidos para base clase 4 de la mina "Doña Meche"* ..... 80

Tabla 3-43 *Tabla de compactación de ensayo CBR para subbase clase 1 de la mina "Doña Meche"* ..... 81

Tabla 3-44 *Tabla de expansión de ensayo CBR para subbase clase 1de la mina "Doña Meche"* ..... 82

Tabla3-45 Tabla de penetración de ensayo CBR para subbase clase 1 de la mina "Doña Meche" ..... 82

Tabla 3-46 *Valores de CBR obtenidos para subbase clase 1 de la mina "Doña Meche"* ..... 86

Tabla 3-47 *Tabla de compactación de ensayo CBR para subbase clase 2 de la mina "Doña Meche"* ..... 87

Tabla 3-48 *Tabla de expansión de ensayo CBR para subbase clase 2de la mina "Doña Meche"* ..... 88

Tabla 3-49 *Tabla de penetración de ensayo CBR para subbase clase 2 de la mina "Doña Meche"* ..... 88

Tabla 3-50 *Valores de CBR obtenidos para subbase clase 2 de la mina "Doña Meche"* ..... 92

Tabla 3-51 *Tabla de compactación de ensayo CBR para subbase clase 3 de la mina "Doña Meche"* ..... 93

Tabla 3-52 *Tabla de expansión de ensayo CBR para subbase clase 3 de la mina "Doña Meche"* ..... 94

Tabla 3-53 *Tabla de penetración de ensayo CBR para subbase clase 3 de la mina "Doña Meche"* ..... 94

Tabla 3-54 *Valores de CBR obtenidos para subbase clase 3 de la mina "Doña Meche"* ..... 99

Tabla 3-55 *Resultados de ensayo Geogauge y obtención del módulo resiliente de la mina "Doña Meche"* ..... 100

Tabla 4-1 *Valores de % de CBR y módulo resiliente para bases de la mina "Doña Meche"* ..... 105

Tabla 4-2 *Valores de % de CBR y módulo resiliente para subbases de la mina "Doña Meche"* ..... 106

Tabla 5-1 *TPDA* ..... 108

Tabla 5-2 *Valores de nivel de confianza (R)* ..... 108

Tabla 5-3 *Valores de desviación estándar (So)* ..... 109

Tabla 5-4 *Factores de distribución de carril* ..... 110

Tabla 5-5 *Proyección de TPDA* ..... 111

Tabla 5-6 *Factor de carga equivalente de 8.2 TON* ..... 112

Tabla 5-7 *Pérdida por serviciabilidad* ..... 113

# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 2-1 *Proceso de zarandeado en la mina "Doña Meche".* ..... 7

Ilustración 2-2 *Muestreo de los agregados* ..... 10

Ilustración 2-3 *Separadores de muestras* ..... 12

Ilustración 2-4 *Cuarteo sobre una superficie limpia y nivelada* ..... 13

Ilustración 2-5 *Clasificación de materiales para subrasante de carreteras* ..... 16

Ilustración 2-6 *Equipo necesario para determinar el valor de CBR* ..... 21

Ilustración 2-7 *Módulo de elasticidad y de resiliencia* ..... 22

Ilustración 3-1 *Curva granulométrica correspondiente a la base mina "Doña Meche"* ..... 24

Ilustración 3-2 *Curva granulométrica correspondiente a la sub-base. mina "Doña Meche"* ..... 26

Ilustración 3-3 *Curva granulométrica de la base clase 1A* ..... 28

Ilustración 3-4 *Curva granulométrica de la base clase 2* ..... 29

Ilustración 3-5 *Curva granulométrica de la base clase 3* ..... 31

Ilustración 3-6 *Curva granulométrica de la base clase 4* ..... 32

Ilustración 3-7 *Curva granulométrica de la base clase 4* ..... 34

Ilustración 3-8 *Curva granulométrica de la sub-base clase 2* ..... 35

Ilustración 3-9 *Curva granulométrica de la sub-base clase 3* ..... 37

Ilustración 3-10 *Curva de compactación base clase 1A – mina "Doña Meche"* ..... 44

Ilustración 3-11 *Curva de compactación base clase 2 – mina "Doña Meche"* ..... 46

Ilustración 3-12 *Curva de compactación base clase 3– mina "Doña Meche"*..... 48

Ilustración 3-13 *Curva de compactación base clase 4– mina "Doña Meche"*..... 50

Ilustración 3-14 *Curva de compactación subbase clase 1– mina "Doña Meche"*.... 52

Ilustración 3-15 *Curva de compactación subbase clase 2– mina "Doña Meche"*.... 54

Ilustración 3-16 *Curva de compactación subbase clase 3 – mina "Doña Meche"*... 56

Ilustración 3-17 *Gráfica de esfuerzo vs deformación - 56 golpes - base clase de 1a mina "Doña Meche"*..... 59

Ilustración 3-18 *Gráfica de esfuerzo vs deformación - 25 golpes -base clase 1a de la mina "Doña Meche"*..... 60

Ilustración 3-19 *Gráfica de esfuerzo vs deformación - 10 golpes -base clase 1A de la mina "Doña Meche"*..... 60

Ilustración 3-20 *Gráfica de % de CBR vs densidad seca - base clase 1A de la mina "Doña Meche"*..... 61

Ilustración 3-21 *Gráfica de esfuerzo vs deformación - 56 golpes -base clase 2 de la mina "Doña Meche"*..... 65

Ilustración 3-22 *Gráfica de esfuerzo vs deformación – 25 golpes -base clase 2 de la mina "Doña Meche"*..... 66

Ilustración 3-23 *Gráfica de esfuerzo vs deformación - 10 golpes -base clase 2 de la mina "Doña Meche"*..... 67

Ilustración 3-24 *Gráfica del % de CBR vs. densidad seca-base clase 2 de la mina "Doña Meche"*..... 68

Ilustración 3-25 *Gráfica de esfuerzo vs. deformación - 56 golpes -base clase 3 de la mina "Doña Meche"*..... 71

Ilustración 3-26 *Gráfica de esfuerzo vs. deformación - 25 golpes -base clase 3 de la mina "Doña Meche"*..... 72

Ilustración 3-27 *Gráfica del esfuerzo vs. deformación -10 golpes-base clase 3 de la mina "Doña Meche"*..... 73

Ilustración 3-28 *Gráfica del % CBR vs. densidad seca-base clase 3 de la mina "Doña Meche".*..... 74

Ilustración 3-29 *Gráfica de esfuerzo vs deformación - 56 golpes - base clase 4 de la mina "Doña Meche"*..... 77

Ilustración 3-30 *Gráfica de esfuerzo vs deformación - 25 golpes - base clase 4 de la mina "Doña Meche"*..... 78

Ilustración 3-31 *Gráfica de esfuerzo vs deformación - 10 golpes - base clase 4 de la mina "Doña Meche"*..... 79

Ilustración 3-32 *Gráfica % CBR vs densidad seca - base clase 4 de la mina "Doña Meche"*..... 80

Ilustración 3-33 *Gráfica de esfuerzo vs deformación - 56 golpes - subbase clase 1 de la mina "Doña Meche"* ..... 83

Ilustración 3-34 *Gráfica de esfuerzo vs deformación - 25 golpes - subbase clase 1 de la mina "Doña Meche"* ..... 84

Ilustración 3-35 *Gráfica de esfuerzo vs deformación - 10 golpes - subbase clase 1 de la mina "Doña Meche"* ..... 85

Ilustración 3-36 *Gráfica de % CBR vs densidad seca - subbase clase 1 de la mina "Doña Meche"*..... 86

Ilustración 3-37 *Gráfica esfuerzo vs deformación - 56 golpes - subbase clase 2 de la mina "Doña Meche"*..... 89

Ilustración 3-38 *Gráfica de esfuerzo vs deformación - 25 golpes - subbase clase 2 de la mina "Doña Meche"* ..... 90

Ilustración 3-39 *Gráfica de esfuerzo vs deformación - 10 golpes - subbase clase 2 de la mina "Doña Meche"* ..... 91

Ilustración 3-40 *Gráfica % de CBR vs densidad seca - subbase clase 2 de la mina "Doña Meche"* ..... 92

Ilustración 3-41 *Gráfica esfuerzo vs deformación - 56 golpes – subbase clase 3 de la mina "Doña Meche"* ..... 96

Ilustración 3-42 *Gráfica de esfuerzo vs deformación - 25 golpes - subbase clase 3 de la mina "Doña Meche"* ..... 97

Ilustración 3-43 *Gráfica de esfuerzo vs deformación - 10 golpes - subbase clase 2 de la mina "Doña Meche"* ..... 98

Ilustración 3-44 *Grafica % de CBR vs densidad seca - subbase clase 3 de la mina "Doña Meche"* ..... 99

Ilustración 3-45 *Densidad seca vs módulo resiliente - base clase 1A - de la mina "Doña Meche"* ..... 101

Ilustración 3-46 *Densidad seca vs módulo resiliente - base clase 2 - de la mina "Doña Meche"* ..... 102

Ilustración 3-47 *Densidad seca vs módulo resiliente - base clase 3 - de la mina "Doña Meche"* ..... 102

Ilustración 3-48 *Densidad seca vs módulo resiliente - base clase 4 – de la mina "Doña Meche"* ..... 103

Ilustración 3-49 *Densidad seca vs módulo resiliente - subbase clase 1 – de la mina "Doña Meche"* ..... 103

Ilustración 3-50 *Densidad seca vs módulo resiliente - subbase clase 2 – de la mina "Doña Meche"* ..... 104

Ilustración 3-51 *Densidad seca vs módulo resiliente - subbase clase 3 - de la mina "Doña Meche"* ..... 104

Ilustración 4-1 *Correlación de módulo resiliente y CBR para bases de la mina "Doña Meche"* ..... 106

Ilustración 4-2 *Correlación de módulo resiliente y CBR para subbases de la mina "Doña Meche"* ..... 107

Ilustración 5-1 *Tipos de vehículos para diseño de pavimentos* ..... 111

Ilustración 5-2 *Cálculo de número estructural para subrasante con nomograma AASHTO-93* ..... 115

Ilustración 5-3 *Número estructural de subrasante, programa AASHTO 1993*..... 116

Ilustración 5-4 *Coeficientes capa "A2", bases granulares* ..... 117

Ilustración 5-5 *Número estructural de base clase 2, programa AASHTO 1993*..... 118

Ilustración 5-6 *Coeficientes capa "A3", subbases granulares*..... 119

Ilustración 5-7 *Número estructural de subbase clase 2, programa AASHTO 1993* 120

Ilustración 5-8 *Coeficiente estructural para carpeta asfáltica (PLG.)*..... 121

Ilustración 5-9 *Número estructural de subrasante, programa AASHTO 1993*..... 124

Ilustración 5-10 *Coeficientes capa "a2". bases granulares*..... 125

Ilustración 5-11 *Número estructural de base clase 2, programa AASHTO 1993*.... 126

Ilustración 5-12 *Coeficientes capa "a3", subbases granulares* ..... 127

Ilustración 5-13 *Número estructural de subbase clase 2, programa AASHTO 1993* ..... 128

Ilustración 5-14 *Coeficiente estructural para carpeta asfáltica (plg.)* ..... 129

Ilustración 5-15 *Espesores de estructura de pavimento determinados con ambos métodos* ..... 131

# ÍNDICE DE MAPAS

Mapa 2.1 *Ubicación de Mina "Doña Meche", Provincia Esmeraldas* ..... 6

# ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 *Realización ensayo Proctor* ..... 137

Anexo 2 *Realización ensayo gravedad específica agregado fino* ..... 138

Anexo 3 *Ensayo equivalente de arena* ..... 138

Anexo 4 *Ensayo contenido de materia orgánica* ..... 139

Anexo 5 *Ensayo CBR* ..... 140

Anexo 6 *Compactación del material para ensayo Geogauge* ..... 141

Anexo 7 *Toma de densidades y humedades* ..... 142

Anexo 8 *Ensayo Geogauge* ..... 143

# 1 CAPÍTULO I: GENERALIDADES

## 1.1 Introducción

Las vías nacen por la necesidad del hombre de transportarse desde un lugar a otro, pero existen diversos detalles que influyen en su construcción, puesto que, cuando la infraestructura vial es eficaz, el transporte de personas, bienes y servicios es fácil, lo que promueve el desarrollo económico del país en donde están ubicadas, ahí recae la importancia de darle al usuario una vía en óptimas condiciones de confort y seguridad con el menor coste posible.

En ese sentido, se vuelve preponderante conocer las características y propiedades principales de los materiales que son parte en el diseño y la construcción de los pavimentos, en especial las capas de base y subbase, dado que estas son las encargadas de resistir las solicitaciones de cargas vehiculares. Por lo que el presente estudio se enfocará en la caracterización de los materiales de la mina llamada "Doña Meche" ubicada en la provincia de Esmeraldas – Ecuador; para el efecto se considera una correlación real entre el ensayo de CBR (California Bearing Ratio) y el ensayo de Módulo Resiliente para los agregados provenientes de la mina antes mencionada.

El verdadero módulo de elasticidad será determinado en el sitio por el equipo GeoGauge; tras encontrar la correlación verdadera, se utilizará el valor obtenido de CBR (según la correlación existente de AASHTO-93) y se encontrará una nueva correlación para hallar el tamaño de la estructura del pavimento y analizar si el diseño es adecuado en comparación con el método tradicional para este tipo de material.

## 1.2 Antecedentes

La historia y el desarrollo de los pavimentos se asocian con la evolución y necesidades de los países; por lo tanto, las vías de comunicación condicionan el progreso de una nación en la medida en que facilitan la comercialización de su producción agrícola e industrial y permiten el desarrollo de sistemas de transporte rápido y eficaz, tal como lo describen Garcés & Garro (1997).

Entre los años de 1914 y 1918, durante la primera guerra mundial, se destruyó gran parte de los pavimentos existentes en las zonas de conflicto; su rápida reconstrucción se constituye paradójicamente en motor de desarrollo para la investigación. Posteriormente, en 1929, la División de Carreteras de California normaliza el ensayo CBR, consolidado como el parámetro de partida para el dimensionamiento de pavimentos flexibles en varios métodos de diseño (Garcés & Garro, 1997).

Evidentemente, la mayor parte de la información de que se dispone sobre el tema proviene de los Estados Unidos de América, pero en los últimos años se han difundido criterios de origen europeo que han contribuido a una visión más amplia y general sobre el diseño de pavimentos. Sin embargo, de acuerdo con Montejo Fonseca (2002), es conveniente tener en cuenta que los espesores obtenidos al aplicar los métodos enunciados son válidos para el lugar donde han sido establecidos, no pudiéndose aplicar sin riesgo en otras regiones con distintas condiciones climáticas y de tránsito; por lo que su empleo en otro sitio debe estar condicionado a la experimentación y a las modificaciones que, de modo forzoso, deben realizase en los lugares donde se los pretende aplicar.

## 1.3 Justificación

Cuando se realiza el diseño de la estructura de un pavimento, para el espesor de las capas granulares tales como la base y subbase, se toma en cuenta el módulo resiliente; por lo que, con fin investigativo se desea realizar la comparación entre el CBR de laboratorio y el módulo resiliente obtenido mediante GeoGauge in situ, de esta manera es posible analizar técnicamente los materiales de la mina de estudio ("Doña Meche") ubicada en el cantón Esmeraldas.

Cabe señalar que actualmente en el Ecuador se utilizan las correlaciones presentadas por la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO, 1993) para la obtención del módulo resiliente real; debido a que estas tienen una gran variabilidad respecto a la realidad de las propiedades de los materiales del medio, se vuelve algo fundamental la obtención de dicho aspecto en función de los materiales a ser usados en el lugar de ejecución del proyecto, lo que resulta determinante para el éxito del proyecto vial y de su duración.

## 1.4 Planteamiento del problema

El hecho de trabajar con el valor del CBR del material y utilizarlo para la obtención empírica del valor del módulo resiliente da como resultado el sobredimensionamiento de las capas de la estructura del pavimento, haciéndola de esta manera mucho más costosa.

Dado que la prueba CBR es el Ensayo de Relación de Soporte de California, y es la encargada de medir la resistencia del suelo al esfuerzo cortante, es capaz de ofrecer

medidas evaluativas de la calidad del terreno para que este sea utilizado como parte de la estructura del pavimento. Mientras que el Módulo de Young de los agregados es dependiente del estado de esfuerzos al cual se encuentra sometido, y este, a su vez, incrementa su valor con los esfuerzos totales, atribuyendo dicho fenómeno a la fricción que existe entre las partículas del material.

Por lo expuesto, el fin de esta investigación es hallar una relación entre el Módulo Resiliente a partir del módulo de Young y los valores de CBR para los materiales pétreos; así será posible realizar un diseño de pavimento flexible mediante el método tradicional de la AASHTO y la relación obtenida.

## 1.5 Objetivos

### 1.5.1 Objetivo general

Con el presente estudio se pretende obtener el Módulo Resiliente mediante el uso del GeoGauge, y correlacionarlo con el índice de California (CBR) mediante los ensayos de laboratorio correspondientes a los materiales de base y subbases de la mina "Doña Meche" ubicada en el cantón Esmeraldas, provincia Esmeraldas - Ecuador.

### 1.5.2 Objetivos específicos

La investigación se plantea los siguientes objetivos específicos:

- Caracterizar el material de la mina "Doña Meche" comparándolo con la normativa del Ministerio de Transporte y Obras Públicas de Ecuador.

- Determinación del porcentaje de CBR para bases y subbases de la mina en estudio mediante ensayos de laboratorio.

- Determinar las correlaciones entre el Módulo de Young y el Índice de California (CBR) para bases y subbases de la mina en estudio.

- Comparar el diseño de la estructura del pavimento del método tradicional de la AASHTO-93 con la correlación que se obtuvo, y concluir si se optimiza el diseño.

# 2 CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

## 2.1 Descripción de la mina

Los materiales con los que se realizará el estudio provienen de la mina denominada "Doña Meche", ubicada en Ecuador, en la provincia de Esmeraldas, cantón Esmeraldas parroquia Tachina; con coordenadas UTM en la fuente de material de N 104108 y E 653867, como lo muestra el Mapa 2.1.

**Mapa 2.1**

*Ubicación de Mina "Doña Meche", Provincia Esmeraldas*




*Fuente:* Gráfico extraído de Google Earth.

La mina en cuestión cuenta con los permisos otorgados por ARCOM (Agencia de Regulación y Control Minero), tanto operacional como ambiental, con código catastral 40000451. Mientras que la Climatología de la Región está clasificada como tropical, predominando el clima cálido húmedo, con una temperatura media anual de 25,6 °C.

En la zona existen dos estaciones climáticas: verano (de junio a noviembre) e invierno (de diciembre a mayo); caracterizadas como veranos cortos, muy calientes y secos e inviernos sumamente lluviosos.

Se obtiene el material mediante el desbroce en el área de extracción, con la ayuda de una retroexcavadora; para luego pasar el material por los diferentes tamaños de zarandas, como se observa en la Ilustración 2.1.

**Ilustración 2-1**

*Proceso de zarandeado en la mina "Doña Meche".*



## 2.2 Capas granulares de la estructura del pavimento

Los materiales que componen el terreno de la estructura del pavimento juegan un papel importante en el desempeño de la superficie de rodamiento, debido a que, dependiendo

de las características y condiciones a las que estén expuestos dichos materiales a lo largo de la vida útil del pavimento, será visible su incidencia en la formación de deterioros en las capas superiores y, por consiguiente, en la regularidad superficial, tal como lo detallan López & Reyes (2012).

### 2.2.1 Base

De acuerdo con Kraemer & Del Val (1996), la base es la capa del firme situada debajo del pavimento, cuya función es eminentemente resistente al absorber la mayor parte de los esfuerzos verticales, mientras que su rigidez o su resistencia a la deformación bajo las solicitaciones repetidas del tráfico suele corresponder a la intensidad del tráfico pesado (macadam o zahorra artificial), en cuyo caso se emplean ya materiales granulares tratados con un ligante o conglomerante; normalmente, bases de mezcla bituminosa y bases de gravacemento. Otras bases usadas son las de gravaescoria, grvaemulsión, gravaceniza y suelocemento.

### 2.2.2 Subbase

La subbase es la capa de firme situada debajo de la base y sobre la explanada; esta puede no ser necesaria con explanadas granulares de elevada capacidad de soporte. Su función es proporcionar a la base un cimiento uniforme y constituir una adecuada plataforma de trabajo para su puesta en obra y compactación, y es deseable que cumpla también una función drenante, para lo cual es imprescindible que los materiales utilizados carezcan de finos, esta suele ser una capa de transición necesaria. Se emplean subbases granulares constituidas por zahorras y arenas naturales o de

machaqueo, suelos estabilizados con cemento, escorias cristalizadas de horno alto, etc. (Kraemer & Del Val, 1996).

## 2.3 Ensayos de laboratorio

Los ensayos de laboratorios son de suma importancia debido a que sirven para la caracterización del material obtenido de la mina "Doña Meche", ubicada en la provincia de Esmeraldas, y así corroborar que dichos agregados son aptos para ser utilizados en la construcción de una vía.

Estos ensayos se rigen a la normativa ASTM (American Society of Testing Materials), la cual ha servido como base para las normativas ecuatorianas INEN y NEVI-12-MTOP.

### 2.3.1 Muestreo de los agregados

Consiste en obtener una muestra representativa del agregado pétreo procesado de un almacén o de una posible fuente de agregados como mantos, canteras o depósitos de arena o grava naturales; este incluye además las operaciones de envase, identificación, transporte y almacenamiento de las muestras. Para el estudio, se realizó el muestreo siguiendo la normativa ASTM D75, así lo muestra la Ilustración 2.2.

**Ilustración 2-2**

*Muestreo de los agregados*



Por otra parte, la norma INEN 695 en la nota 3 indica que la investigación preliminar y el muestreo en las fuentes potenciales y tipos de áridos ocupan un lugar muy importante en la determinación de la disponibilidad e idoneidad del mayor de los constituyentes individuales empleados en la construcción. Desde el punto de vista de la economía, influye en el tipo de construcción; y desde el punto de vista del árido, regula el control de los materiales necesarios para garantizar la durabilidad de la estructura construida, para lo que se considera la información contenida en la Tabla 2.1.

**Tabla 2-1**

*Tamaño de muestras*

| Tamaño del árido [A] mm | Masa mínima de la muestra in situ [B] kg | Volumen mínimo de la muestra in situ, litros |
|---|---|---|
| Áridos finos | | |
| 2,36 | 10 | 8 |
| 4,75 | 10 | 8 |
| Áridos gruesos | | |
| 9,5 | 10 | 8 |
| 12,5 | 15 | 12 |
| 19,0 | 25 | 20 |
| 25,0 | 50 | 40 |
| 37,5 | 75 | 60 |
| 50 | 100 | 80 |
| 63 | 125 | 100 |
| 75 | 150 | 120 |
| 90 | 175 | 140 |

*Fuente:* Tomado de Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN), Norma Técnica Ecuatoriana (NTE), 695 (INEN, 2010).

### 2.3.2 Cuarteo de los agregados

Respecto a las especificaciones para agregados, estas requieren obtener porciones representativas del material de suministro para la prueba. Si los demás factores son iguales, las muestras más grandes tenderán a ser más representativas del suministro total. Esta práctica proporciona procedimientos para reducir la gran muestra obtenida en el campo, o producida en el laboratorio, a un tamaño conveniente para realizar una serie de pruebas descriptivas y de calidad; es importante señalar que si no se siguen cuidadosamente los procedimientos de esta práctica, se podría obtener una muestra no representativa que se utilizará en pruebas posteriores. Los métodos de prueba individuales prevén una cantidad mínima de material a probar, según la American Society of Testing Materials C702 (ASTM, 2003).

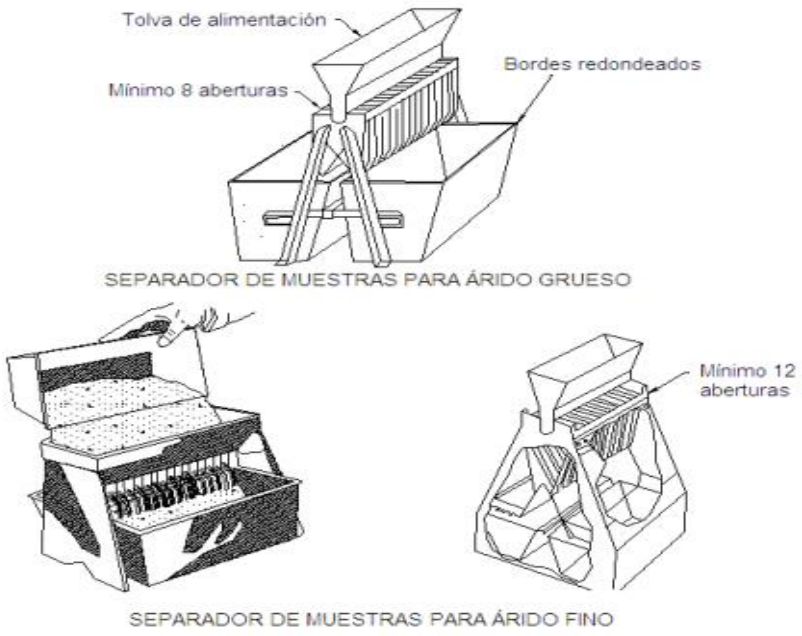
Asimismo, existen tres métodos para la reducción de muestras grandes de áridos según la norma NTE INEN 2 566 (INEN, 2010), estos son:

- MÉTODO A. Separador Mecánico.

Los separadores mecánicos generalmente están disponibles en tamaños adecuados para el árido grueso que tenga las partículas más grandes no mayores de 37,5mm, lo que se muestra en la Ilustración 2.3, a continuación:

**Ilustración 2-3**

*Separadores de muestras*



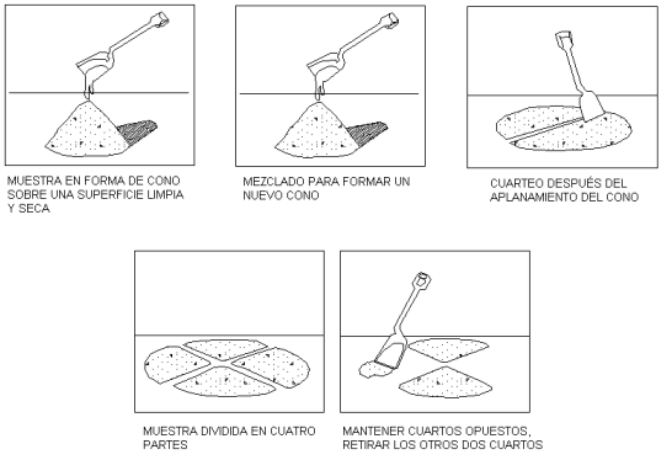

*Fuente:* Tomado de NTE INEN 2 566 (INEN, 2010).

- MÉTODO B. Cuarteo.

El método de cuarteo se muestra la Ilustración 2.4.

**Ilustración 2-4**

*Cuarteo sobre una superficie limpia y nivelada*




*Fuente:* Tomado de Norma NTE INEN 2 566 (INEN, 2010).

- MÉTODO C. Muestreo de una pila en miniatura (solo para áridos fino húmedo).

Se utilizó el método B de cuarteo para reducción de muestras representativas.

### 2.3.3 Granulometría

Otra de las propiedades importantes de los agregados es su composición granulométrica o granulometría, puesto que de ella dependen la estabilidad, las propiedades drenantes, la susceptibilidad al congelamiento y, en resumen, el comportamiento del pavimento en operación, así lo explica Zárate Equino (2007).

Además, la serie de tamices para utilizar, según la normativa ASTM C33 (ASTM, 2008a) , se detallan en la Tabla 2.2, a continuación:

**Tabla 2-2**

*Tamices y el tamaño de sus aberturas*

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Agregado grueso | Pulg. | 2 | 1 ½ | 1 | ¾ | ½ | 3/8 | N.º 4 |
| | mm. | 50,8 | 38,1 | 25,4 | 19 | 12,7 | 9,51 | 4,76 |
| Agregado fino | Pulg. | N.º 4 | N.º 8 | N.º 16 | N.º 30 | N.º 50 | N.º 100 | |
| | mm. | 4,76 | 2,36 | 1,19 | 0,595 | 0,297 | 0,142 | |

*Fuente:* ASTM C-33 Granulometría de los agregados. (ASTM, 2008a).

Para la clasificación de los suelos que usan la distribución por tamaño de grano se puede utilizar cualquiera de estos dos métodos: SUCS (Sistema unificado de clasificación de suelos), y sistema de clasificación AASHTO, este último es utilizado principalmente por los departamentos de caminos.

### 2.3.4 Clasificación del suelo según AASHTO Y SUCS

Los suelos con propiedades similares se clasifican en grupos y subgrupos basados en su comportamiento ingenieril. Los sistemas de clasificación proporcionan un lenguaje común para expresar en forma concisa las características generales de los suelos, que son infinitamente variadas sin una descripción detallada. En tal virtud, existen:

- Clasificación SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos)

Clasifica los suelos en dos amplias categorías según Braja M Das (1998):

1) Suelos de grano grueso que son de naturaleza tipo grava y arenosa con menos del 50% pasando por la malla No. 200. Los símbolos de grupo comienzan con

un prefijo GaS; donde G significa grava o suelo gravoso y S significa arena o suelo arenoso.

2) Suelos de grano fino con 50% o más pasando por la malla No. 200. Los símbolos de grupo comienzan con un prefijo M, que significa limo inorgánico, C para arcilla inorgánica u O para limos y arcillas orgánicos. El símbolo Pt se usa para turbas, lodos y otros suelos altamente orgánicos.

- Sistema de clasificación AASHTO.

El Sistema de Clasificación AASHTO actualmente está en uso. De acuerdo con éste, el suelo se clasifica en siete grupos mayores que van desde el A-l al A-7. Los suelos clasificados en los grupos A-l ,A-2 y A-3 son materiales granulares, donde 35% o menos de las partículas pasan por la criba No. 200. Los suelos de los que más del 35% pasan por la criba No. 200 y son clasificados en los grupos AA, A-5, A-6 Y A-7. La mayoría están formados por materiales tipo limo y arcilla (Braja M Das, 1998), como lo demuestra a continuación la Ilustración 2.5.

**Ilustración 2-5**

*Clasificación de materiales para subrasante de carreteras*

| Clasificación general | Materiales granulares (35% o menos de la muestra que pasa la malla No. 200) | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Clasificación de grupo | *A-1* | | | *A-2* | | | |
| | *A-1-a* | *A-1-b* | *A-3* | *A-2-4* | *A-2-5* | *A-2-6* | *A-2-7* |
| Análisis por cribado (porcentaje que pasa las mallas) | | | | | | | |
| No. 10 | 50 máx. | | | | | | |
| No. 40 | 30 máx. | 50 máx. | 51 mín. | | | | |
| No. 200 | 15 máx. | 25 máx. | 10 máx. | 35 máx. | 35 máx. | 35 máx. | 35 máx. |
| Características de la fracción que pasa la malla No. 40 | | | | | | | |
| Límite líquido | | | | 40 máx. | 41 mín. | 40 máx. | 41 mín. |
| Índice de plasticidad | 6 máx. | | NP | 10 máx. | 10 máx. | 11 mín. | 11 mín. |
| Tipos usuales de materiales componentes significativos | Fragmentos de piedra grava y arena | | Arena fina | Grava y arena limosa o arcillosa | | | |
| Tasa general de los subrasantes | De excelente a bueno | | | | | | |

| Clasificación general | Materiales limo-arcilla (más del 35% de la muestra que pasa la malla No. 200) | | | |
|---|---|---|---|---|
| Clasificación de grupo | *A-4* | *A-5* | *A-6* | *A-7* *A-7-5** *A-7-6*† |
| Análisis por cribado (porcentaje que pasa por las mallas) | | | | |
| No. 10 | | | | |
| No. 40 | | | | |
| No. 200 | 36 mín. | 36 mín. | 36 mín. | 36 mín. |
| Características de la fracción que pasa por la malla No. 40 | | | | |
| Límite líquido | 40 máx. | 41 mín. | 40 máx | 41 mín. |
| Índice de plasticidad | 10 máx. | 10 máx. | 11 mín. | 11 mín. |
| Tipos usuales de materiales componentes significativos | Suelos limosos | | Suelos arcillosos | |
| Tasa general de los sobrantes | De mediano a pobre | | | |

*Para *A-7-5*, $PI \leq LL - 30$
†Para *A-7-6*, $PI > LL - 30$

*Fuente:* Tomado de Braja M Das (1998).

### 2.3.5 Gravedad específica

Según la norma ASTM C128-97 (ASTM, 2006b), la gravedad específica o densidad relativa es la característica que se usa generalmente para calcular el volumen ocupado por el material cuando este forma parte de varias mezclas como cemento portland, concreto bituminoso y otras mezclas que se analicen sobre una base de volumen absoluto.

Por otra parte, mediante la norma ASTM C127 (ASTM, 2006a) para el caso del agregado fino y de la normativa ASTM C128 para el agregado grueso se obtuvieron las gravedades especificas Bulk y el porcentaje de absorción de cada uno de los agregados.

### 2.3.6 Contenido orgánico

Este ensayo determina la presencia de impurezas orgánicas perjudiciales en los áridos finos que se emplean en la elaboración de obras ingenieriles y está regido por la norma ASTM C40-99 (ASTM, 1999) y la norma ecuatoriana NTE INEN 855 (INEN, 2010).

Para definir con una mejor precisión el color del líquido de la muestra de ensayo se debe usar cinco vidrios de colores normalizados, descritos en la Tabla 2.3.

**Tabla 2-3**

*Comparador de color normalizado*

| Color normalizado escala de Gardner No. | Número de orden en el comparador |
|---|---|
| 5 | 1 |
| 8 | 2 |
| 11 | 3 (normalizado de referencia) |
| 14 | 4 |
| 16 | 5 |
| NOTA. Se debe utilizar el procedimiento de comparación descrito en el numeral 5.7.1, excepto que se debe reportar el número del vidrio del comparador que es más cercano al color del líquido que sobrenada sobre la muestra de ensayo. Cuando se utiliza este procedimiento, no es necesario preparar la solución de color normalizado. | |

*Fuente:* Tomado de Norma NTE INEN 855, (INEN, 2010).

### 2.3.7 Equivalente de arena

Está regido por las normas ASTM D-2419 (ASTM, 2014d) y AASHTO T176-00 (AASHTO, 2008), mismo que consiste en la determinación de las proporciones relativas de finos plásticos o arcillosos en los áridos que pasan por tamiz de 4,75mm (Nº 4). Para lo cual se vierte un volumen medido de suelo o agregado fino y una pequeña cantidad de solución floculante en un cilindro de plástico graduado y se agita para aflojar los recubrimientos arcillosos o las partículas del tamaño de la arcilla de las partículas de arena en la muestra de ensayo.

El espécimen luego se "riega" usando una solución floculante adicional que obliga al material arcilloso o del tamaño de la arcilla a suspenderse sobre la arena. Después de un período de sedimentación prescrito, se lee la altura del material floculado y se determina la altura de la arena en el cilindro. El equivalente de arena representa la relación entre la altura de la arena y la altura del material floculado por 100 (ASTM, 2014d).

### 2.3.8 Desgaste a la abrasión de los agregados

Según la norma NTE INEN 860 (INEN, 2011), este ensayo determina la pérdida de masa de los agregados minerales con gradación normalizada, resultante de una combinación de acciones que incluyen la abrasión o desgaste; en tal sentido, se considera el impacto y la molienda en un tambor giratorio de acero que contiene un número especificado de esferas de acero, dicho número depende de la gradación de la muestra de ensayo. A mediada que el tambor gira, una plataforma recoge la muestra y las esferas de acero, elevándolas hasta que caigan al lado opuesto del tambor, creando un efecto de impacto y trituración, cuya información consta en la Tabla 2.4.

**Tabla 2-4**

*Especificaciones para la carga*

| Gradación | Número de esferas | Masa de la carga (g) |
|---|---|---|
| A | 12 | 5 000 ± 25 |
| B | 11 | 4 584 ± 25 |
| C | 8 | 3 330 ± 20 |
| D | 6 | 2500 ± 15 |

*Fuente:* Tomado de Norma NTE INEN 860 (INEN, 2011).

### 2.3.9 Durabilidad de los agregados a la acción de los sulfatos

Este ensayo cubre las pruebas de agregados para evaluar su integridad cuando se exponen a la intemperie en concreto u otras aplicaciones. Lo mencionado se logra sumergiendo repetidamente en una solución saturada de sulfato de sodio o sulfato de magnesio y luego secando en un horno para deshidratar parcial o completamente la sal depositada en los poros permeables. La fuerza interna de expansión generada por la

rehidratación de la sal simula la expansión cuando se enfría el agua; este método de prueba proporciona información útil para juzgar el cuidado cuando no hay datos suficientes en el registro de uso de materiales expuestos a las condiciones climáticas actuales y se lleva a cabo utilizando la norma ASTM C88 (ASTM, 2014b).

### 2.3.10 California Bearing Ratio (CBR)

El Índice de California, Capacidad Portante de California (California Bearing Rates [CBR]), corresponde a la medida de la resistencia de un suelo al esfuerzo cortante bajo condiciones de densidad y humedad, ambas cuidadosamente controladas. Se expresa en porcentaje (%) y se utiliza, apoyándose en curvas empíricas para el proyecto de Pavimentos Flexibles (NEVI-12-MTOP, 2000).

Varias décadas atrás, como resultado de un extenso estudio de fallas en pavimentos flexibles, la División de Carreteras del Estado de California, E.E.U.U., propuso un sistema para el diseño de pavimentos de este tipo, basado en un método de prueba conocido por sus siglas en inglés como CBR, que fue diseñado para indicar la resistencia relativa de un suelo que ha sido compactado con un peso volumétrico y un contenido de agua ajustada a determinadas condiciones ambientales. El espécimen de material se compacta en moldes cilíndricos de 15cm de diámetro, aplicando la energía de compactación de las pruebas AASHTO estándar, modificada y alguna intermedia (AASHTO T 193) (Zárate Equino, 2007), tal como se muestran en la Ilustración 2.6.

**Ilustración 2-6**

*Equipo necesario para determinar el valor de CBR*



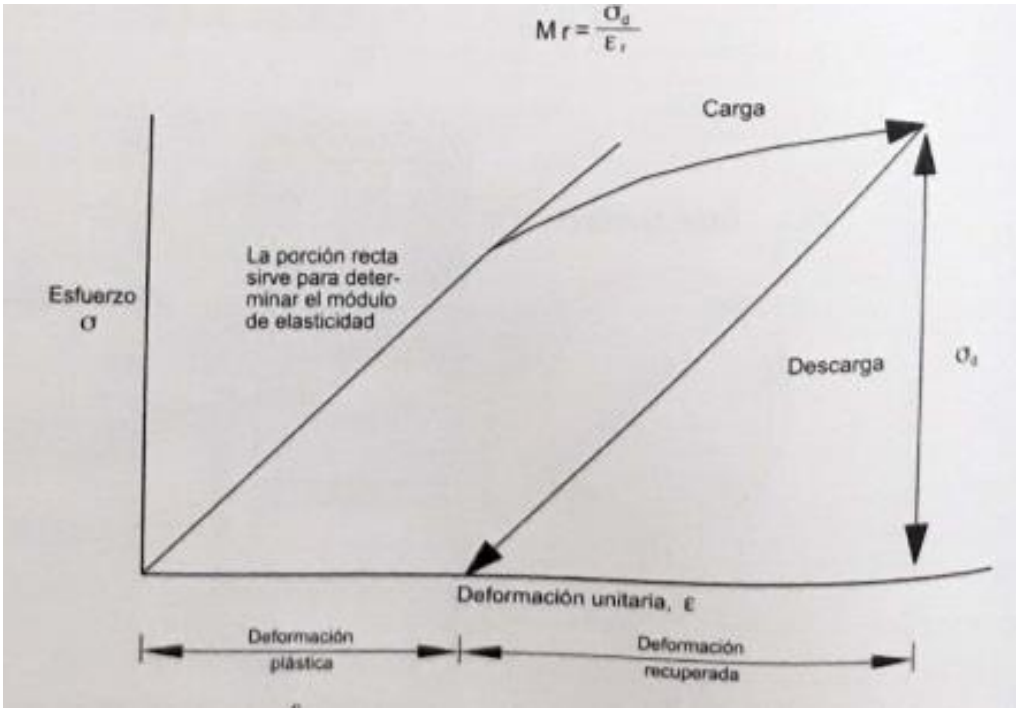
*Fuente:* Tomado de Diseño de pavimentos flexibles (Zárate Equino, 2007).

### 2.3.11 Módulo de Young

El Módulo de Elasticidad o Módulo de Young, es una razón entre el incremento de esfuerzo y el cambio correspondiente a la deformación unitaria. Este índice, a través del tiempo, fue relacionado con los suelos, dando origen al término de "suelos elásticos", debido a que existe una correspondencia biunívoca entre tensiones y deformaciones (Martínez & Azuaga, 1997; Jiménez & De Justo, 1975). El módulo en cuestión se observa en la Ilustración 2.7.

**Ilustración 2-7**

*Módulo de elasticidad y de resiliencia*




*Fuente:* Diseño de pavimentos flexibles (Zárate Equino, 2007).

Cabe indicar que el equipo Geogauge H-4140 es un aparato electromagnético que evalúa la compactación de los suelos en forma no destructiva rápida y segura, por lo que sirve para la evaluación de asfaltos, bases, subbases, subrasantes y cualquier material granular que vaya a ser utilizado en terraplenes y carreteras; este aparato determina las propiedades del suelo inclusive cercano a lugares de vibración, sin que estos tengan influencia en las medidas desplegadas de este, por lo que no interfiere ni retarda la construcción de vías y carreteras (Humboldt Corporation, 2007).

En esa línea, para el desarrollo de esta investigación se realizaron siete huecos de un metro por un metro, y 20cms de profundidad; los cuales se compactaron cada 10cms con los diferentes tipos de bases y subbases de la mina en estudio.

# 3 CAPÍTULO III: RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE LABORATORIO

En este capítulo se presentarán los resultados obtenidos después de haber realizado los ensayos con base en las normas ASTM y las normativas ecuatorianas NEVI-12-MTOP e INEN, a continuación constan cada uno de los aspectos evaluados.

## 3.1 Granulometría de agregados

A continuación, la Tabla 3.1 muestra la granulometría de la base correspondiente a la mina "Doña Meche".

**Tabla 3-1**

*Granulometría de la base correspondiente a la mina "Doña Meche"*

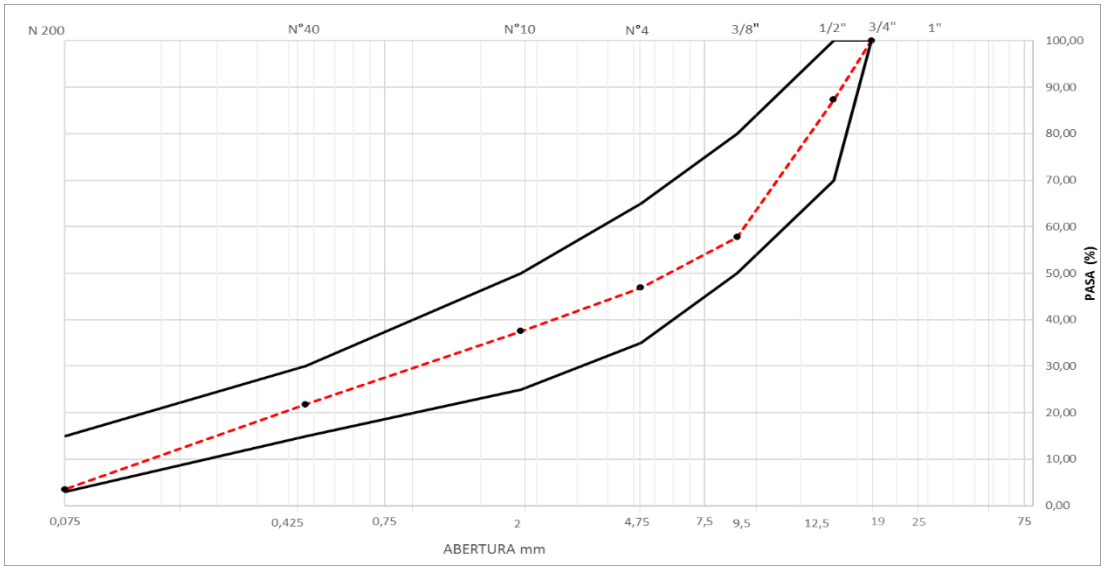
| | TAMIZ | | PESOS | PORCENTAJES | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Plg. | Mm | PESO PARCIAL g. | %RETENIDO | % RETENIDO ACUMULADO | % QUE PASA | ESPECIFICACIÓN ASTM C 33 | | |
| AGREGADO GRUESO | 3" | 75 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 100,00 | | - | |
| | 2 ½" | 63 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 100,00 | | - | |
| | 2" | 50 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 100,00 | | - | |
| | 1 ½" | 37,5 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 100,00 | | - | |
| | 1" | 25 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 100,00 | 100 | - | 100 |
| | ¾" | 19 | 2543,00 | 12,72 | 12,72 | 87,29 | 100 | - | 70 |
| | ½" | 12,5 | 4468,00 | 22,34 | 35,06 | 64,95 | | - | |
| | 3/8" | 9,5 | 1437,00 | 7,19 | 42,24 | 57,76 | 80 | - | 50 |
| | Nª 4 | 4,75 | 2182,20 | 10,91 | 53,15 | 46,85 | 65 | - | 35 |

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| AGREGADO FINO | Nª 10 | 2 | 1865,90 | 9,33 | 62,48 | 37,52 | 50 | - | 25 |
| | Nª 16 | 1,18 | 1783,60 | 8,92 | 71,40 | 28,60 | | - | |
| | Nª 40 | 0,425 | 1361,10 | 6,81 | 78,20 | 21,80 | 30 | - | 15 |
| | Nª 50 | 0,3 | 732,80 | 3,66 | 81,87 | 18,13 | | - | |
| | Nª 100 | 0,15 | 743,90 | 3,72 | 85,59 | 14,41 | | - | |
| | Nª 200 | 0,075 | 2179,30 | 10,90 | 96,48 | 3,52 | 15 | - | 3 |
| | FONDO | | 703,20 | 3,52 | 100,00 | 0,00 | | - | |
| | TOTAL | | 20000,00 | 100,00 | | | | | |

Así también, la Ilustración 3.1 muestra la curva granulométrica correspondiente a la base mina “Doña Meche”.

**Ilustración 3-1**

*Curva granulométrica correspondiente a la base mina “Doña Meche”*




Por su parte, la Tabla 3.2 muestra la granulometría de la sub-base correspondiente a la mina “Doña Meche”.

**Tabla 3-2**

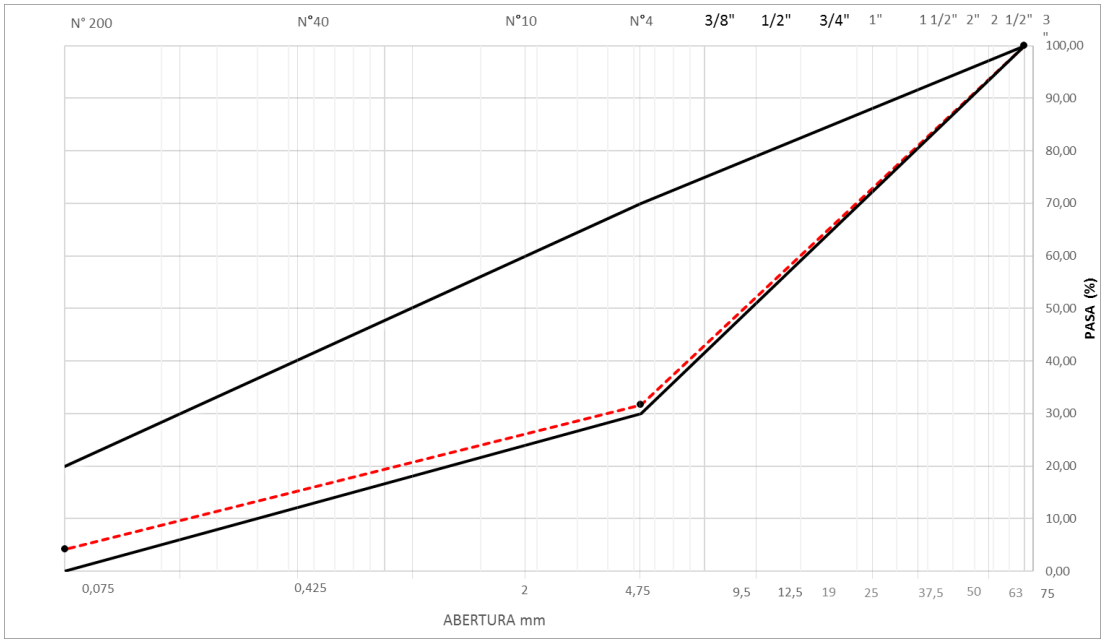
*Granulometría de la sub-base correspondiente a la mina "Doña Meche"*

| | TAMIZ | | PESOS | PORCENTAJES | | | ESPECIFICACIÓN ASTM C 33 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Plg. | mm | PESO PARCIAL g. | %RETENIDO | % RETENIDO ACUMULADO | % QUE PASA | | | |
| AGREGADO GRUESO | 3" | 75 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 100,00 | 100 | - | 100 |
| | 2 1/2" | 63 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 100,00 | | - | |
| | 2" | 50 | 2799,00 | 14,00 | 14,00 | 86,01 | | - | |
| | 1 1/2" | 37,5 | 1956,00 | 9,78 | 23,78 | 76,23 | | - | |
| | 1" | 25 | 1468,00 | 7,34 | 31,12 | 68,89 | | - | |
| | 3/4" | 19 | 1531,00 | 7,66 | 38,77 | 61,23 | | - | |
| | 1/2" | 12,5 | 1438,00 | 7,19 | 45,96 | 54,04 | | - | |
| | 3/8" | 9,5 | 1057,00 | 5,29 | 51,25 | 48,76 | | - | |
| | Nª 4 | 4,75 | 3422,90 | 17,11 | 68,36 | 31,64 | 70 | - | 30 |
| AGREGADO FINO | Nª 10 | 2 | 2535,00 | 12,68 | 81,03 | 18,97 | | - | |
| | Nª 16 | 1,18 | 726,40 | 3,63 | 84,67 | 15,33 | | - | |
| | Nª 40 | 0,425 | 956,30 | 4,78 | 89,45 | 10,55 | | - | |
| | Nª 50 | 0,3 | 626,00 | 3,13 | 92,58 | 7,42 | | - | |
| | Nª 100 | 0,15 | 265,00 | 1,33 | 93,90 | 6,10 | | - | |
| | Nª 200 | 0,075 | 392,40 | 1,96 | 95,87 | 4,14 | 20 | - | 0 |
| | FONDO | | 827,00 | 4,14 | 100,00 | 0,00 | | | |
| | TOTAL | | 20000,00 | 100,00 | | | | | |

A su vez, la Ilustración 3.2 muestra la curva granulométrica correspondiente a la sub-base mina "Doña Meche"

**Ilustración 3-2**

*Curva granulométrica correspondiente a la sub-base. mina "Doña Meche"*




A continuación, se procede con la creación de todas las Bases y Sub-Bases a partir del material original las cuales deben cumplir con las especificaciones que se encuentran en la norma ecuatoriana NEVI-12-MTOP.

### 3.1.1 Granulometría base

- Granulometría base clase 1A.

En la Tabla 3.3 se observan los parámetros obtenidos de este indicador.

**Tabla 3-3**

*Granulometría de la base clase 1A*

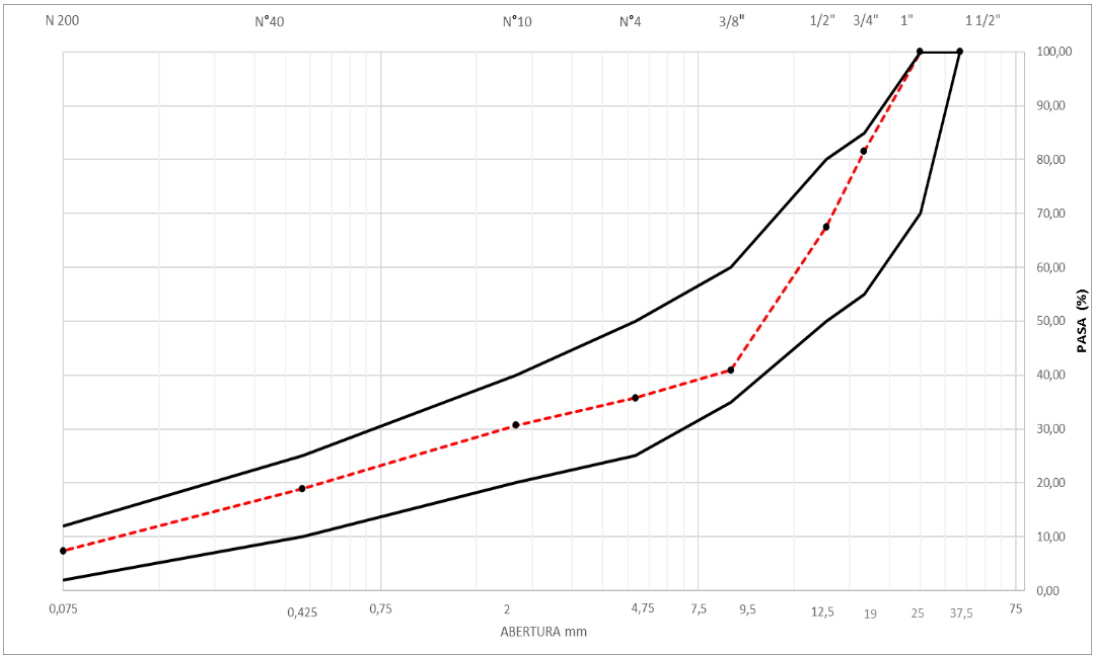
| TAMIZ | PESOS | PORCENTAJES |
|---|---|---|

| | Plg. | mm | PESO PARCIAL g. | %RETENIDO | % RETENIDO ACUMULADO | % QUE PASA | LÍMITES ESPECIFICACIÓN | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| AGREGADO GRUESO | 3" | 75 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 100,00 | | - | |
| | 2 1/2" | 63 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 100,00 | | - | |
| | 2" | 50 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 100,00 | 100 | - | 100 |
| | 1 1/2" | 37,5 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 100,00 | 100 | - | 70 |
| | 1" | 25 | 3682,00 | 18,41 | 18,41 | 81,59 | 85 | - | 55 |
| | 3/4" | 19 | 2818,00 | 14,09 | 32,50 | 67,50 | 80 | - | 50 |
| | 1/2" | 12,5 | 832,00 | 4,16 | 36,66 | 63,34 | | - | |
| | 3/8" | 9,5 | 4492,00 | 22,46 | 59,12 | 40,88 | 60 | - | 35 |
| | Nª 4 | 4,75 | 1020,00 | 5,10 | 64,22 | 35,78 | 50 | - | 25 |
| AGREGADO FINO | Nª 10 | 2 | 1022,00 | 5,11 | 69,33 | 30,67 | 40 | - | 20 |
| | Nª 16 | 1,18 | 1066,00 | 5,33 | 74,66 | 25,34 | | - | |
| | Nª 40 | 0,425 | 1280,00 | 6,40 | 81,06 | 18,94 | 25 | - | 10 |
| | Nª 50 | 0,3 | 1102,00 | 5,51 | 86,57 | 13,43 | | - | |
| | Nª 100 | 0,15 | 286,00 | 1,43 | 88,00 | 12,00 | | - | |
| | Nª 200 | 0,075 | 930,00 | 4,65 | 92,65 | 7,35 | 12 | - | 2 |
| | FONDO | | 1470,00 | 7,35 | 100,00 | 0,00 | | | |
| | TOTAL | | 20000,00 | | | | | | |

La curva granulométrica de la base clase 1A, se grafica en la Ilustración 3.3.

**Ilustración 3-3**

*Curva granulométrica de la base clase 1A*




- Granulometría base clase 2

La granulometría base clase 2, se la puede observar en la Tabla 3.4.

**Tabla 3-4**

*Granulometría de la base clase 2*

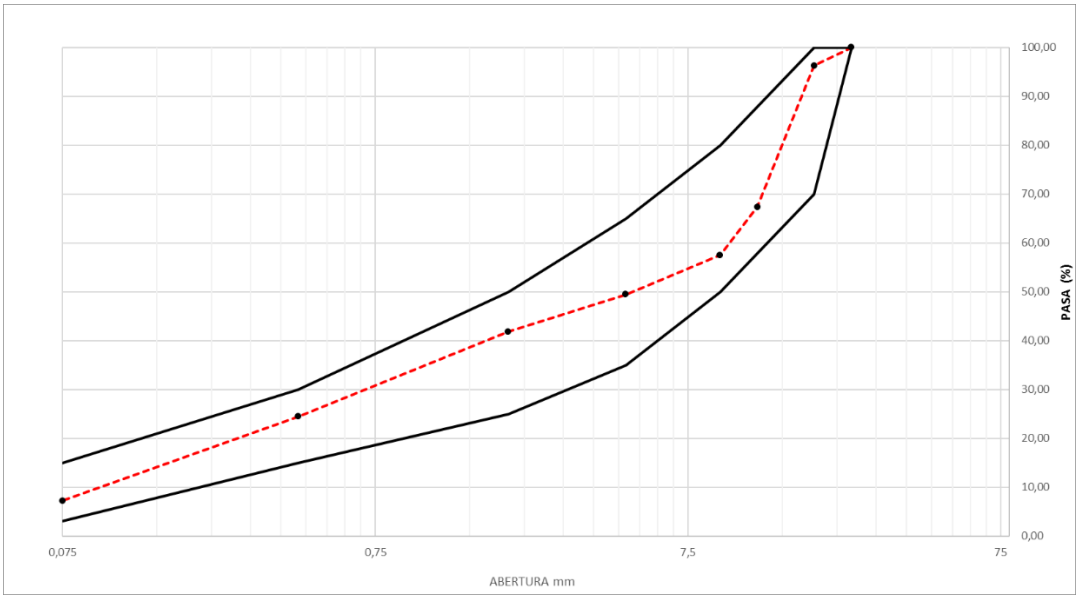
| | TAMIZ | | PESOS | PORCENTAJES | | | LÍMITES ESPECIFICACIÓN | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Plg. | mm | PESO PARCIAL g. | %RETENIDO | % RETENIDO ACUMULADO | % QUE PASA | | | |
| AGREGADO GRUESO | 3" | 75 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 100,00 | | - | |
| | 2 1/2" | 63 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 100,00 | | - | |
| | 2" | 50 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 100,00 | | - | |
| | 1 1/2" | 37,5 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 100,00 | | - | |
| | 1" | 25 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 100,00 | 100 | - | 100 |
| | 3/4" | 19 | 752,00 | 3,76 | 3,76 | 96,24 | 100 | - | 70 |

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1/2" | 12,5 | 5780,00 | 28,90 | 32,66 | 67,34 | | - | |
| | 3/8" | 9,5 | 1974,00 | 9,87 | 42,53 | 57,47 | 80 | - | 50 |
| | Nª 4 | 4,75 | 1608,00 | 8,04 | 50,57 | 49,43 | 65 | - | 35 |
| AGREGADO FINO | Nª 10 | 2 | 1518,00 | 7,59 | 58,16 | 41,84 | 50 | - | 25 |
| | Nª 16 | 1,18 | 912,00 | 4,56 | 62,72 | 37,28 | | - | |
| | Nª 40 | 0,425 | 2568,00 | 12,84 | 75,56 | 24,44 | 30 | - | 15 |
| | Nª 50 | 0,3 | 1410,00 | 7,05 | 82,61 | 17,39 | | - | |
| | Nª 100 | 0,15 | 1132,00 | 5,66 | 88,27 | 11,73 | | - | |
| | Nª 200 | 0,075 | 904,00 | 4,52 | 92,79 | 7,21 | 15 | - | 3 |
| | FONDO | | 1442,00 | 7,21 | 100,00 | 0,00 | | - | |
| | TOTAL | | 20000,00 | 100,00 | | | | | |

De igual forma, la Ilustración 3.4, muestra la curva granulométrica de la base clase 2.

**Ilustración 3-4**

*Curva granulométrica de la base clase 2*




- Granulometría Base clase 3.

La Tabla 3.5, indica la granulometría de la base clase 3.

**Tabla 3-5**

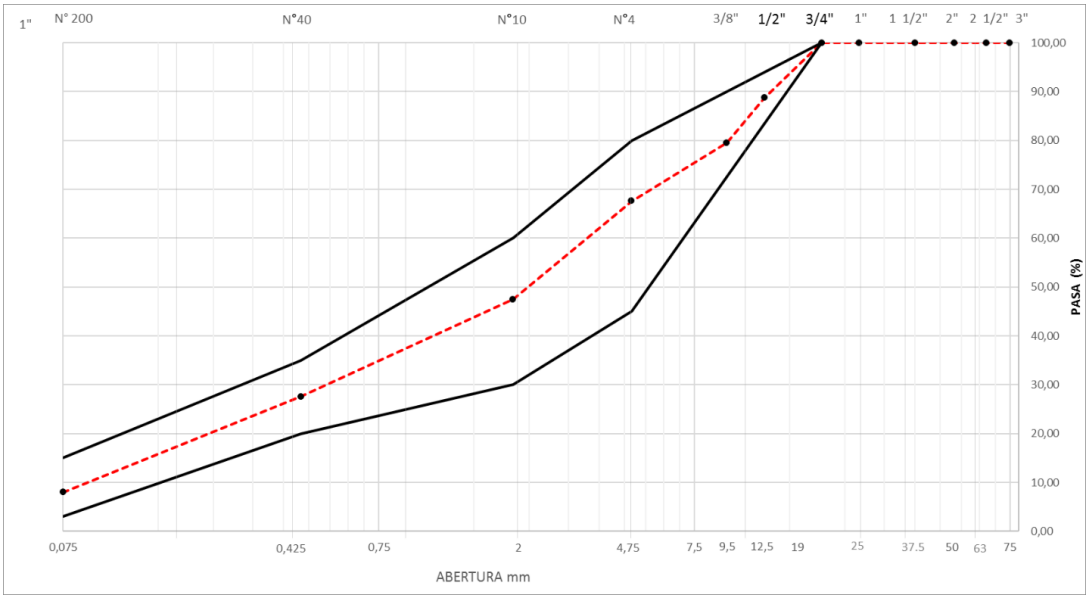
*Granulometría de la base clase 3*

| | TAMIZ | | PESOS | PORCENTAJES | | | ESPECIFICACIÓN ASTM C 33 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Plg. | mm | PESO PARCIAL g. | %RETENIDO | % RETENIDO ACUMULADO | % QUE PASA | | | |
| AGREGADO GRUESO | 3" | 75 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 100,00 | | - | |
| | 2 1/2" | 63 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 100,00 | | - | |
| | 2" | 50 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 100,00 | | - | |
| | 1 1/2" | 37,5 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 100,00 | | - | |
| | 1" | 25 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 100,00 | | - | |
| | 3/4" | 19 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 100,00 | 100 | - | 100 |
| | 1/2" | 12,5 | 2252,00 | 11,26 | 11,26 | 88,74 | | - | |
| | 3/8" | 9,5 | 1842,00 | 9,21 | 20,47 | 79,53 | | - | |
| | Nª 4 | 4,75 | 2396,00 | 11,98 | 32,45 | 67,55 | 80 | - | 45 |
| AGREGADO FINO | Nª 10 | 2 | 4022,00 | 20,11 | 52,56 | 47,44 | 60 | - | 30 |
| | Nª 16 | 1,18 | 2192,00 | 10,96 | 63,52 | 36,48 | | - | |
| | Nª 40 | 0,425 | 1788,00 | 8,94 | 72,46 | 27,54 | 35 | - | 20 |
| | Nª 50 | 0,3 | 1030,00 | 5,15 | 77,61 | 22,39 | | - | |
| | Nª 100 | 0,15 | 1772,00 | 8,86 | 86,47 | 13,53 | | - | |
| | Nª 200 | 0,075 | 1116,00 | 5,58 | 92,05 | 7,95 | 15 | - | 3 |
| | FONDO | | 1590,00 | 7,95 | 100,00 | 0,00 | | | |
| | TOTAL | | 20000,00 | 100,00 | | | | | |

Por su parte, la curva granulométrica de la base clase 3, se detalla en la Ilustración 3.5.

**Ilustración 3-5**

*Curva granulométrica de la base clase 3*




- Granulometría Base clase 4.

´De la misma forma, la Tabla 3.6 muestra la granulometría de la base clase 4.

**Tabla 3-6**

*Granulometría de la base clase 4*

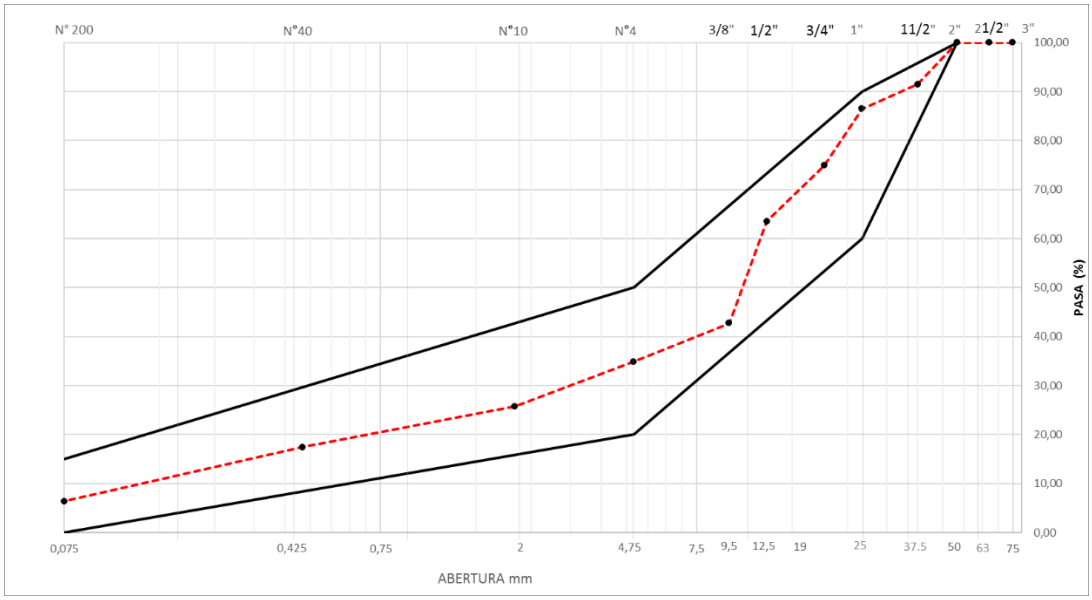
| | TAMIZ | | PESOS | PORCENTAJES | | | ESPECIFICACIÓN ASTM C 33 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Plg. | Mm | PESO PARCIAL g. | %RETENIDO | % RETENIDO ACUMULADO | % QUE PASA | | | |
| AGREGADO GRUESO | 3” | 75 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 100,00 | | - | |
| | 2 ½” | 63 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 100,00 | | - | |
| | 2” | 50 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 100,00 | 100 | - | 100 |
| | 1 ½” | 37,5 | 1710,00 | 8,55 | 8,55 | 91,45 | | - | |
| | 1” | 25 | 996,00 | 4,98 | 13,53 | 86,47 | 90 | - | 60 |
| | ¾” | 19 | 2310,00 | 11,55 | 25,08 | 74,92 | | - | |
| | ½” | 12,5 | 2282,00 | 11,41 | 36,49 | 63,51 | | - | |

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 3/8” | 9,5 | 4156,00 | 20,78 | 57,27 | 42,73 | | - | |
| | Nª 4 | 4,75 | 1566,00 | 7,83 | 65,10 | 34,90 | 50 | - | 20 |
| AGREGADO FINO | Nª 10 | 2 | 1834 | 9,17 | 74,27 | 25,73 | | - | |
| | Nª 16 | 1,18 | 870 | 4,35 | 78,62 | 21,38 | | - | |
| | Nª 40 | 0,425 | 788 | 3,94 | 82,56 | 17,44 | | - | |
| | Nª 50 | 0,3 | 320 | 1,60 | 84,16 | 15,84 | | - | |
| | Nª 100 | 0,15 | 868 | 4,34 | 88,50 | 11,50 | | - | |
| | Nª 200 | 0,075 | 1018,00 | 5,09 | 93,59 | 6,41 | 15 | - | 0 |
| | FONDO | | 1282,00 | 6,41 | 100,00 | 0,00 | | | |
| | TOTAL | | 20000,00 | 100,00 | | | | | |

A continuación, la Ilustración 3.6, muestra la curva granulométrica de la base clase 4.

**Ilustración 3-6**

*Curva granulométrica de la base clase 4*




- Granulometría sub-base clase 1.

Por otro lado, la granulometría sub-base clase 1, se detalla en la Tabla 3.7.

**Tabla 3-7**

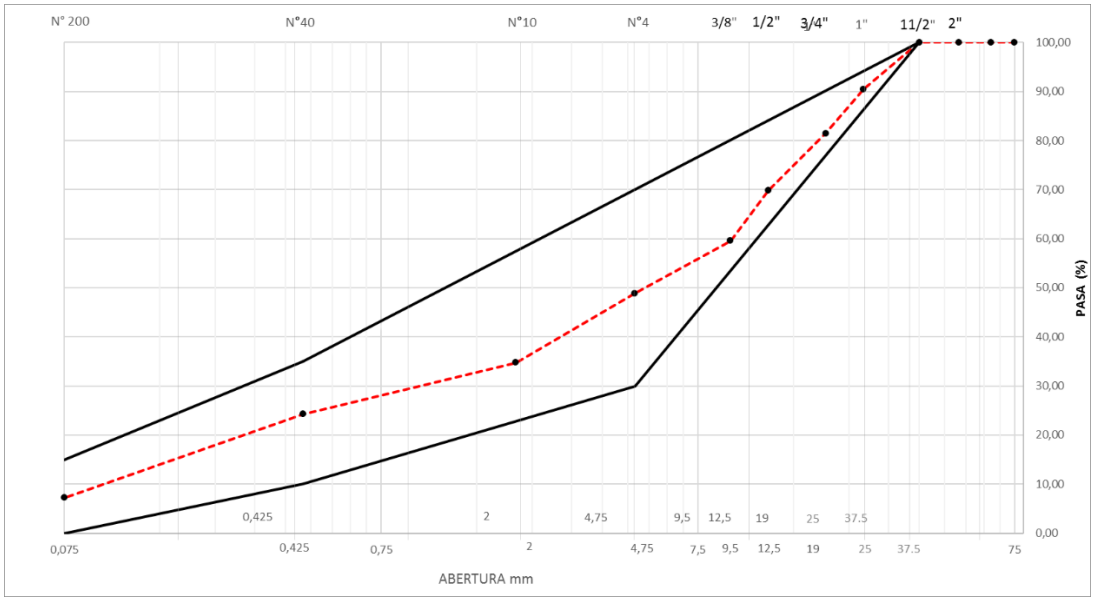
*Granulometría de sub-base clase 1*

| | TAMIZ | | PESOS | PORCENTAJES | | | ESPECIFICACIÓN ASTM C 33 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Plg. | mm | PESO PARCIAL g. | %RETENIDO | % RETENIDO ACUMULADO | % QUE PASA | | | |
| AGREGADO GRUESO | 3" | 75 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 100,00 | | - | |
| | 2 1/2" | 63 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 100,00 | | - | |
| | 2" | 50 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 100,00 | | - | |
| | 1 1/2" | 37,5 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 100,00 | 100 | - | 100 |
| | 1" | 25 | 1906,00 | 9,53 | 9,53 | 90,47 | | - | |
| | 3/4" | 19 | 1796,00 | 8,98 | 18,51 | 81,49 | | - | |
| | 1/2" | 12,5 | 2332,00 | 11,66 | 30,17 | 69,83 | | - | |
| | 3/8" | 9,5 | 2056,00 | 10,28 | 40,45 | 59,55 | | - | |
| | Nª 4 | 4,75 | 2134,00 | 10,67 | 51,12 | 48,88 | 70 | - | 30 |
| AGREGADO FINO | Nª 10 | 2 | 2826,00 | 14,13 | 65,25 | 34,75 | | - | |
| | Nª 16 | 1,18 | 1062,00 | 5,31 | 70,56 | 29,44 | | - | |
| | Nª 40 | 0,425 | 1042,00 | 5,21 | 75,77 | 24,23 | 35 | - | 10 |
| | Nª 50 | 0,3 | 1002,00 | 5,01 | 80,78 | 19,22 | | - | |
| | Nª 100 | 0,15 | 922,00 | 4,61 | 85,39 | 14,61 | | - | |
| | Nª 200 | 0,075 | 1482,00 | 7,41 | 92,80 | 7,20 | 15 | - | 0 |
| | FONDO | | 1440,00 | 7,20 | 100,00 | 0,00 | | | |
| | TOTAL | | 20000,00 | 100,00 | | | | | |

La curva granulométrica de la base clase 4, se la grafica en la Ilustración 3.7.

**Ilustración 3-7**

*Curva granulométrica de la base clase 4*




- Granulometría Sub-Base clase 2.

La Tabla 3.8, muestra los valores de la granulometría de la sub-base clase 2.

**Tabla 3-8**

*Granulometría de la sub-base clase 2*

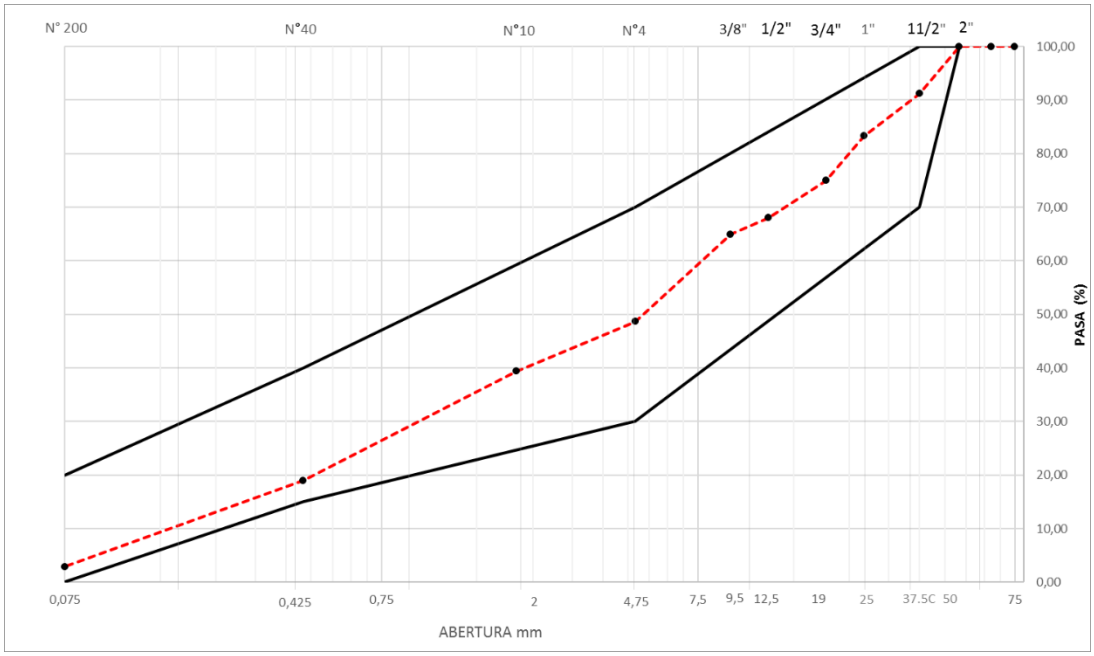
| | TAMIZ | | PESOS | PORCENTAJES | | | ESPECIFICACIÓN ASTM C 33 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Plg. | mm | PESO PARCIAL g. | %RETENIDO | % RETENIDO ACUMULADO | % QUE PASA | | | |
| AGREGADO GRUESO | 3" | 75 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 100,00 | | - | |
| | 2 1/2" | 63 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 100,00 | | - | |
| | 2" | 50 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 100,00 | 100 | - | 100 |
| | 1 1/2" | 37,5 | 1764,00 | 8,82 | 8,82 | 91,18 | 100 | - | 70 |
| | 1" | 25 | 1584,00 | 7,92 | 16,74 | 83,26 | | - | |

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 3/4" | 19 | 1666,00 | 8,33 | 25,07 | 74,93 | | - | |
| | 1/2" | 12,5 | 1382,00 | 6,91 | 31,98 | 68,02 | | - | |
| | 3/8" | 9,5 | 614,00 | 3,07 | 35,05 | 64,95 | | - | |
| | Nª 4 | 4,75 | 3256,00 | 16,28 | 51,33 | 48,67 | 70 | - | 30 |
| AGREGADO FINO | Nª 10 | 2 | 1854 | 9,27 | 60,60 | 39,40 | | - | |
| | Nª 16 | 1,18 | 1378 | 6,89 | 67,49 | 32,51 | | - | |
| | Nª 40 | 0,425 | 2700 | 13,50 | 80,99 | 19,01 | 40 | - | 15 |
| | Nª 50 | 0,3 | 336 | 1,68 | 82,67 | 17,33 | | - | |
| | Nª 100 | 0,15 | 1026 | 5,13 | 87,80 | 12,20 | | - | |
| | Nª 200 | 0,075 | 1858,00 | 9,29 | 97,09 | 2,91 | 20 | - | 0 |
| | FONDO | | 582,00 | 2,91 | 100,00 | 0,00 | | | |
| | TOTAL | | 20000,00 | 100,00 | | | | | |

Por otra parte, la Ilustración 3.8, muestra la curva granulométrica de la sub-base clase 2.

**Ilustración 3-8**

*Curva granulométrica de la sub-base clase 2*



- Granulometría Sub-Base clase 3.

A su vez, la Tabla 3.9, a continuación, indica los valores de la granulometría sub-base clase 3.

**Tabla 3-9**

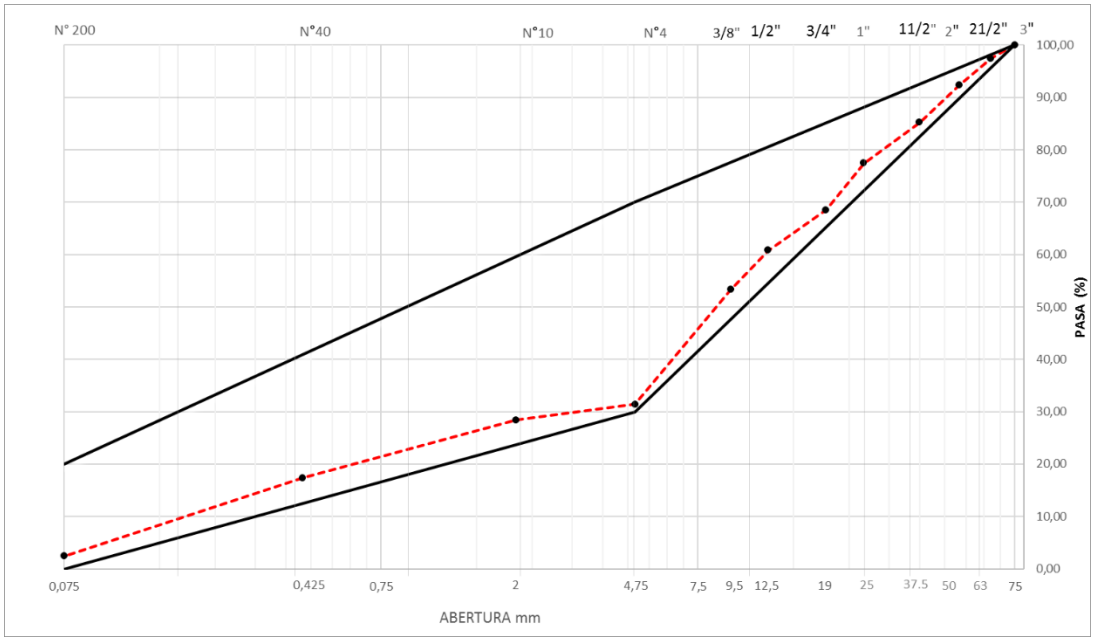
*Granulometría de la sub-base clase 3*

| | TAMIZ | | PESOS | PORCENTAJES | | | ESPECIFICACIÓN ASTM C 33 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Plg. | Mm | PESO PARCIAL g. | %RETENIDO | % RETENIDO ACUMULADO | % QUE PASA | | | |
| AGREGADO GRUESO | 3” | 75 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 100,00 | 100 | - | 100 |
| | 2 ½” | 63 | 510,00 | 2,55 | 2,55 | 97,45 | | - | |
| | 2” | 50 | 1026,00 | 5,13 | 7,68 | 92,32 | | - | |
| | 1 ½” | 37,5 | 1422,00 | 7,11 | 14,79 | 85,21 | | - | |
| | 1” | 25 | 1554,00 | 7,77 | 22,56 | 77,44 | | - | |
| | ¾” | 19 | 1788,00 | 8,94 | 31,50 | 68,50 | | - | |
| | ½” | 12,5 | 1538,00 | 7,69 | 39,19 | 60,81 | | - | |
| | 3/8” | 9,5 | 1498,00 | 7,49 | 46,68 | 53,32 | | - | |
| | Nª 4 | 4,75 | 4382,00 | 21,91 | 68,59 | 31,41 | 70 | - | 30 |
| AGREGADO FINO | Nª 10 | 2 | 604,00 | 3,02 | 71,61 | 28,39 | | - | |
| | Nª 16 | 1,18 | 1100,00 | 5,50 | 77,11 | 22,89 | | - | |
| | Nª 40 | 0,425 | 1108,00 | 5,54 | 82,65 | 17,35 | | - | |
| | Nª 50 | 0,3 | 522,00 | 2,61 | 85,26 | 14,74 | | - | |
| | Nª 100 | 0,15 | 1118,00 | 5,59 | 90,85 | 9,15 | | - | |
| | Nª 200 | 0,075 | 1348,00 | 6,74 | 97,59 | 2,41 | 20 | - | 0 |
| | FONDO | | 482,00 | 2,41 | 100,00 | 0,00 | | | |
| | TOTAL | | 20000,00 | 100,00 | | | | | |

Finalmente, la Ilustración 3.9 demuestra la curva granulométrica de la sub-base clase 3.

**Ilustración 3-9**

*Curva granulométrica de la sub-base clase 3*




## 3.2 Clasificación de los suelos según AASHTO y SUCS

Los resultados de la clasificación de los suelos según AASHTO y SUCS se presentan en la Tabla 3.10 y la Tabla 3.11.

**Tabla 3-10**

*Resultados de clasificación de suelos mina "Doña Meche"*

| Base mina "Doña Meche" | |
|---|---|
| Clasificación SUCS | GW |
| Descripción | Gravas bien graduadas, mezcla de gravas y arenas, poco o ningún fino. |
| Clasificación AASHTO | A-1-a |
| Descripción | Fragmentos de piedra, grava y arena. |

**Tabla 3-11**

*Resultados de clasificación de suelos- mina "Doña Meche"*

| Sub-base mina "Doña Meche" | |
|---|---|
| Clasificación SUCS | GW |
| Descripción | Gravas bien graduadas, mezcla de gravas y arenas, poco o ningún fino. |
| Clasificación AASHTO | A-1-a |
| Descripción | Fragmentos de piedra, grava y arena. |

## 3.3 Gravedad específica

### 3.3.1 Gravedad específica de finos

Por otro lado, la gravedad específica de finos se muestra, a continuación, en la Tabla 3.12.

**Tabla 3-12**

*Gravedad especifica agregado fino-mina "Doña Meche"*

| | | | |
|---|---|---|---|
| Datos iniciales | Masa de la muestra seca | A= | 487,000 |
| | Masa de la muestra S.S. S | S= | 500,000 |
| | Masa del picnómetro, muestra y agua | C= | 956,400 |
| | Masa del picnómetro | D= | 151,200 |
| | Masa del picnómetro con agua | B= | 645,300 |
| Datos calculados | Masa de agua añadida al matraz (Ma) | Ma=C-(D+S) | 305,200 |
| | GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK(Ge) | A/(500-Ma) | 2,500 |
| | GRAVEDAD ESPECÍFICA SSS(Ges) | S/(500-Ma) | 2,567 |
| | GRAVEDAD ESPECÍFICA APARENTE(Gea) | A/(500+A+D-C) | 2,679 |
| | ABSORCIÓN DEL AGREGADO (Ab%) | ((S-A)/A) *100 | 2,669 |

### 3.3.2 Gravedad específica de gruesos

Así mismo, la Tabla 3.13 muestra la gravedad específica de gruesos de la mina.

**Tabla 3-13**

*Gravedad especifica agregado grueso-mina "Doña Meche"*

| | | | |
|---|---|---|---|
| Datos iniciales | Masa de la muestra seca | A= | 4957,800 |
| | Masa de la muestra S.S. S | B= | 5000,000 |
| | Masa de la muestra sumergida en agua | C= | 3144,000 |
| Datos calculados | GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK(Ge) | A/(B-C) | 2,671 |
| | GRAVEDAD ESPECÍFICA SSS(Ges) | B/(B-C) | 2,694 |
| | GRAVEDAD ESPECÍFICA APARENTE(Gea) | A/(A-C) | 2,733 |
| | ABSORCIÓN DEL AGREGADO (Ab%) | ((B-A)/A)*100 | 0,851 |

## 3.4 Contenido orgánico

Los resultados del ensayo de contenido orgánico-mina, se los puede observar en la Tabla 3.14.

**Tabla 3-14**

*Resultados ensayo contenido orgánico-mina "Doña Meche"*

| | |
|---|---|
| MUESTRA | 1 |
| Nª en escala de Gardner | 3 |
| Descripción | Se considera aceptable |

## 3.5 Equivalente de arena

Los resultados del ensayo equivalente de arena-mina constan en la Tabla 3.15.

**Tabla 3-15**

*Resultados ensayo equivalente de arena-mina "Doña Meche"*

| **Muestra N.ª** | **1** | **2** | **3** |
|---|---|---|---|
| Lectura de arcilla (A) | 9,5 | 9,6 | 11,1 |
| Lectura de arena (B) | 5,1 | 4,9 | 5,1 |
| Equiv. De arena (%) | 54,0 | 52,0 | 46,0 |
| **Equiv. De arena promedio (%)** | | 51,0 | |

# 3.6 Desgaste a la abrasión de los agregados en la máquina de los Ángeles

## 3.6.1 Porcentaje de desgaste a la abrasión de base

Los resultados de desgaste a la abrasión de base-mina "Doña Meche", se indican en la Tabla 3.16.

**Tabla 3-16**

*Resultados de desgaste a la abrasión de base-mina "Doña Meche"*

| | |
|---|---|
| Masa inicial de la muestra(A) | 5006 g |
| Masa retenida en el tamiz n° 12 después de 500 revoluciones(B) | 3965,4 g |
| Masa que pasa el tamiz N°12(C) | 1040,6 g |
| Porcentaje de desgastes | 21 % |

## 3.6.2 Porcentaje de desgaste a la abrasión de subbase

La Tabla 3.17, muestra los resultados de desgaste a la abrasión de subbase-mina "Doña Meche".

**Tabla 3-17**

*Resultados de desgaste a la abrasión de subbase-mina "Doña Meche"*

| | |
|---|---|
| Masa inicial de la muestra(A) | 10032 g |
| Masa retenida en el tamiz n° 12 después de 500 revoluciones(B) | 8338g |
| Masa que pasa el tamiz N°12(C) | 1694g |
| Porcentaje de desgastes | 17 % |

## 3.7 Durabilidad de los agregados a la acción de los sulfatos

### 3.7.1 Durabilidad de los agregados a la acción de los Sulfatos de agregado grueso

Los resultados del ensayo de durabilidad de los agregados a la acción de los sulfatos de agregado grueso, se muestra la Tabla 3.18.

**Tabla 3-18**

*Resultado de ensayo de durabilidad a los sulfatos agregado grueso-mina "Doña Meche"*

| Fracción Nª | Nª Tamiz | | % Retenido parcial del agregado | Peso inicial empleado (G) | Peso Final (G) | Perdidas de Peso | | Perdidas Corregidas |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Pasa | Retiene | | | | (G) | (%) | |
| 1 | 1" | 3/4" | 14,09 | 2024 | 1592,1 | 431,90 | 21,34 | 3,01 |
| 2 | 3/4" | 1/2" | 4,16 | 1505,38 | 1424,50 | 80,88 | 5,37 | 0,22 |
| 3 | 1/2" | 3/8" | 22,46 | 1007,87 | 967,70 | 40,17 | 3,99 | 0,90 |
| 4 | 3/8" | Nª4 | 5,10 | 300,58 | 292,40 | 8,18 | 2,72 | 0,14 |
| | | | | | | PERDIDAS TOTALES % | | 4,27 |

### 3.7.2 Durabilidad de los agregados a la acción de los sulfatos de agregado fino

Los resultados de la durabilidad de los agregados a la acción de los sulfatos de agregado fino constan en la Tabla 3.19.

**Tabla 3-19**

*Resultado de ensayo de durabilidad a los sulfatos agregado fino-mina "Doña Meche"*

| Fracción Nª | Nª Tamiz | | % Retenido parcial del agregado | Peso inicial empleado (G) | Peso Final (G) | Perdidas de Peso | | Perdidas Corregidas Pasa |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Pasa | Retiene | | | | (G) | (%) | |
| 1 | 3/8" | Nª4 | 5,1 | 100,00 | 97,2 | 2,80 | 2,80 | 0,14 |
| 2 | Nª4 | Nª8 | 5,11 | 100,00 | 94,00 | 6,00 | 6,00 | 0,31 |
| 3 | Nª8 | Nª16 | 5,33 | 100,00 | 93,58 | 6,42 | 6,42 | 0,34 |
| 4 | Nª16 | Nª30 | 6,4 | 100,00 | 90,43 | 9,57 | 9,57 | 0,61 |
| 5 | Nª30 | Nª50 | 5,51 | 100,00 | 93,7 | 6,30 | 6,30 | 0,35 |
| | | | | | | PERDIDAS TOTALES % | | 1,75 |

## 3.8 CBR (California Bearing Ratio)

### 3.8.1 Proctor modificado base

Proctor modificado base clase 1A

La Tabla 3.20, muestra los resultados del ensayo base clase 1A.

**Tabla 3-20**

*Resultado de ensayo Proctor modificado base clase 1A-mina "Doña Meche"*

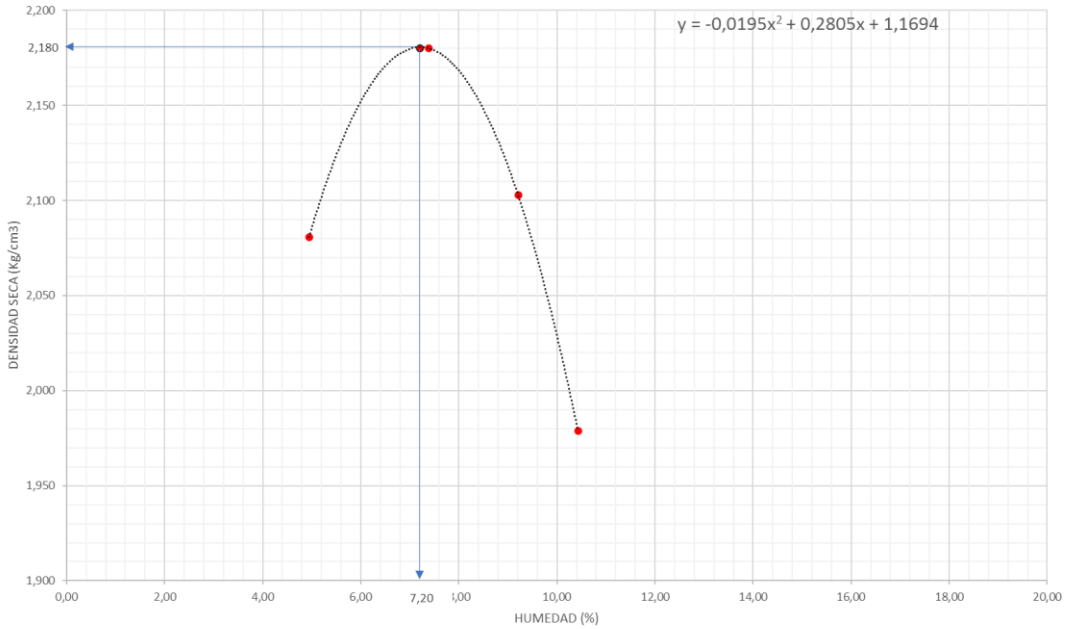
| DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD |
|---|

| MUESTRA Nº | 1 | | 2 | | 3 | | 4 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Nª DE TARRO | 9 | 29 | 13 | 21 | 10 | 60 | 13 | 10 |
| PESO DEL TARRO (grs) | 33,80 | 31,71 | 32,83 | 32,55 | 32,58 | 33,86 | 32,83 | 32,58 |
| PESO DEL TARRO + MUESTRA HÚMEDA | 71,71 | 69,36 | 95,75 | 78,89 | 92,35 | 94,72 | 86,54 | 85,48 |
| PESO DEL TARRO+ MUESTRA SECA (grs) | 69,91 | 67,60 | 91,46 | 75,68 | 87,24 | 89,66 | 81,39 | 80,56 |
| PESO DEL AGUA (grs) | 1,80 | 1,76 | 4,29 | 3,21 | 5,11 | 5,06 | 5,15 | 4,92 |
| PESO DEL MATERIAL SECO (grs) | 36,1 | 35,9 | 58,6 | 43,1 | 54,7 | 55,8 | 48,6 | 48,0 |
| CONTENIDO DE HUMEDAD (grs) | 4,98 | 4,90 | 7,32 | 7,44 | 9,35 | 9,07 | 10,61 | 10,25 |
| % PROMEDIO | 4,94 | | 7,38 | | 9,21 | | 10,43 | |
| DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD | | | | | | | | |
| CONTENIDO DE HUMEDAD % | 4,94 | | 7,38 | | 9,21 | | 10,43 | |
| PESO DEL SUELO+MOLDE (grs) | 10244 | | 10579 | | 10484 | | 10247 | |
| PESO DEL MOLDE (grs) | 5592 | | 5592 | | 5592 | | 5592 | |
| PESO DEL SUELO (grs) | 4652 | | 4987 | | 4892 | | 4655 | |
| DENSIDAD HÚMEDA (grs/cm3) | 2,184 | | 2,341 | | 2,296 | | 2,185 | |
| DENSIDAD SECA (grs/cm3) | 2,081 | | 2,180 | | 2,103 | | 1,979 | |
| | | | | | Densidad Máxima (grs/cm3) | | 2,180 | |
| | | | | | Humedad Optima% | | 7,20 | |

Así también, la Ilustración 3.10 presenta la curva de compactación base clase 1A – mina “Doña Meche”.

**Ilustración 3-10**

*Curva de compactación base clase 1A – mina "Doña Meche"*




- Proctor modificado base clase 2

Por su parte, la Tabla 3.21 muestra los resultados del ensayo en mención.

**Tabla 3-21**

*Resultado de ensayo Proctor modificado base clase 2-mina "Doña Meche"*

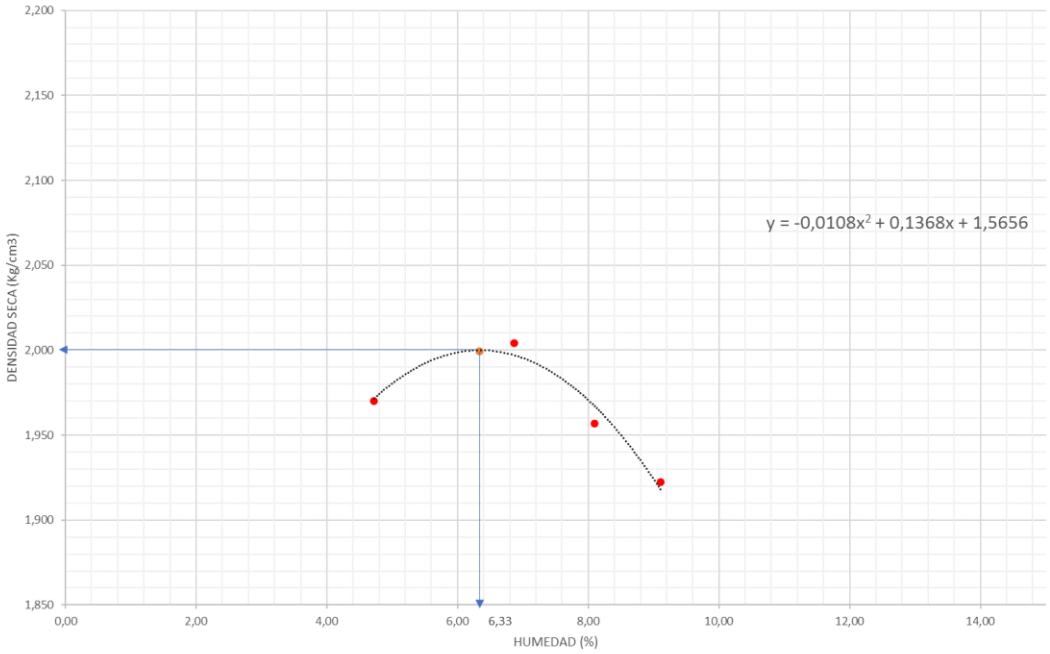
| DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| MUESTRA Nº | 1 | | 2 | | 3 | | 4 | |
| Nª DE TARRO | 21 | 60 | 0 | 17 | 22 | 15 | 28 | 60 |
| PESO DEL TARRO (grs) | 32,55 | 33,86 | 33,08 | 32,08 | 32,65 | 32,41 | 33,11 | 33,86 |
| PESO DEL TARRO+MUESTRA HÚMEDA | 100,51 | 97,24 | 92,71 | 114,57 | 108,57 | 107,62 | 105,82 | 103,95 |
| PESO DEL TARRO+ MUESTRA SECA (grs) | 97,46 | 94,37 | 88,91 | 109,22 | 102,87 | 102,00 | 99,78 | 98,07 |
| PESO DEL AGUA (grs) | 3,05 | 2,87 | 3,80 | 5,35 | 5,70 | 5,62 | 6,04 | 5,88 |

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| PESO DEL MATERIAL SECO (grs) | 64,9 | 60,5 | 55,8 | 77,1 | 70,2 | 69,6 | 66,7 | 64,2 |
| CONTENIDO DE HUMEDAD (grs) | 4,70 | 4,74 | 6,81 | 6,94 | 8,12 | 8,08 | 9,06 | 9,16 |
| % PROMEDIO | 4,72 | | 6,87 | | 8,10 | | 9,11 | |
| DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD | | | | | | | | |
| CONTENIDO DE HUMEDAD % | 4,72 | | 6,87 | | 8,10 | | 9,11 | |
| PESO DEL SUELO+MOLDE (grs) | 9987 | | 10155 | | 10098 | | 10060 | |
| PESO DEL MOLDE (grs) | 5592 | | 5592 | | 5592 | | 5592 | |
| PESO DEL SUELO (grs) | 4395 | | 4563 | | 4506 | | 4468 | |
| DENSIDAD HÚMEDA (grs/cm3) | 2,063 | | 2,142 | | 2,115 | | 2,097 | |
| DENSIDAD SECA (grs/cm3) | 1,970 | | 2,004 | | 1,957 | | 1,922 | |
| | | | | | Densidad Máxima (grs/cm3) | | 2,000 | |
| | | | | | Humedad Optima% | | 6,33 | |

La curva de compactación base clase 2-mina “Doña Meche”, se presenta en la Ilustración 3.11.

**Ilustración 3-11**

*Curva de compactación base clase 2 – mina "Doña Meche"*




- Proctor modificado base clase 3

Los resultados del ensayo base clase 3 constan en la Tabla 3.22.

**Tabla 3-22**

*Resultado de ensayo Proctor modificado base clase 3- mina "Doña Meche"*

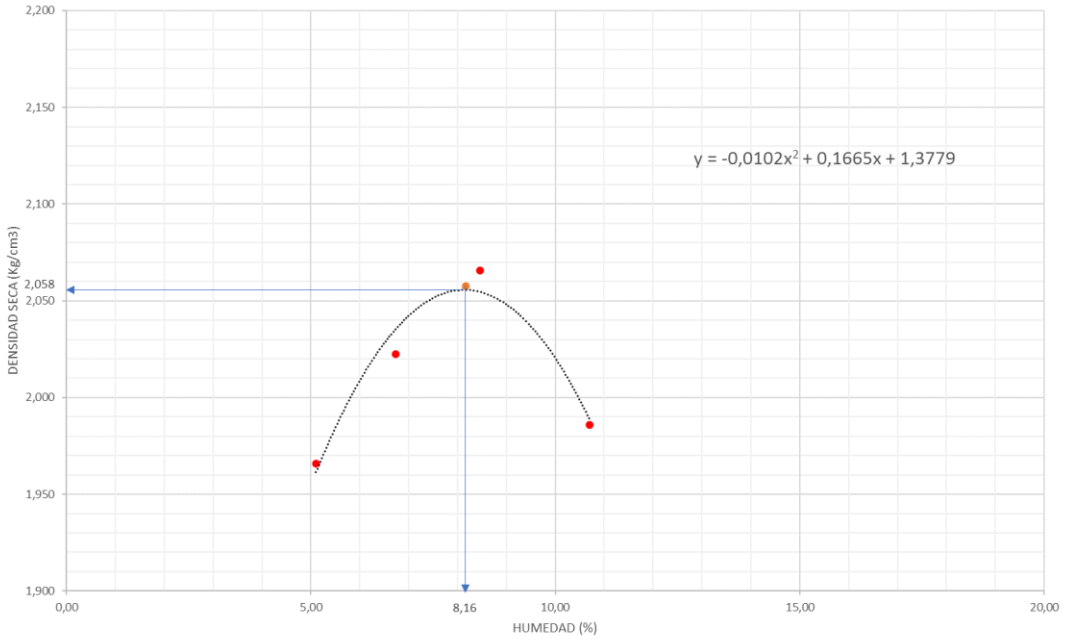
| DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| MUESTRA Nº | 1 | | 2 | | 3 | | 4 | |
| Nª DE TARRO | 28 | 60 | 25 | 9 | 11 | 15 | 2 | 1 |
| PESO DEL TARRO (grs) | 33,11 | 33,86 | 32,34 | 33,80 | 33,21 | 32,41 | 31,08 | 33,05 |
| PESO DEL TARRO + MUESTRA HÚMEDA | 81,67 | 96,11 | 65,37 | 59,30 | 77,03 | 76,64 | 88,63 | 89,61 |
| PESO DEL TARRO + MUESTRA SECA (grs) | 79,30 | 93,10 | 63,30 | 57,68 | 73,60 | 73,20 | 83,02 | 84,19 |

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| PESO DEL AGUA (grs) | 2,37 | 3,01 | 2,07 | 1,62 | 3,43 | 3,44 | 5,61 | 5,42 |
| PESO DEL MATERIAL SECO (grs) | 46,2 | 59,2 | 31,0 | 23,9 | 40,4 | 40,8 | 51,9 | 51,1 |
| CONTENIDO DE HUMEDAD (grs) | 5,13 | 5,08 | 6,69 | 6,78 | 8,49 | 8,43 | 10,80 | 10,60 |
| % PROMEDIO | 5,11 | | 6,73 | | 8,46 | | 10,70 | |
| DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD | | | | | | | | |
| CONTENIDO DE HUMEDAD % | 5,11 | | 6,73 | | 8,46 | | 10,70 | |
| PESO DEL SUELO + MOLDE (grs) | 9994 | | 10191 | | 10365 | | 10275 | |
| PESO DEL MOLDE (grs) | 5592 | | 5592 | | 5592 | | 5592 | |
| PESO DEL SUELO (grs) | 4402 | | 4599 | | 4773 | | 4683 | |
| DENSIDAD HÚMEDA (grs/cm3) | 2,066 | | 2,159 | | 2,240 | | 2,198 | |
| DENSIDAD SECA (grs/cm3) | 1,966 | | 2,023 | | 2,066 | | 1,986 | |
| | | | | | Densidad Máxima (grs/cm3) | | 2,058 | |
| | | | | | Humedad Optima% | | 8,16 | |

A continuación, la Ilustración 3.12 indica la curva de compactación base clase 3 – mina “Doña Meche”.

**Ilustración 3-12**

*Curva de compactación base clase 3– mina "Doña Meche"*




- Proctor modificado base clase 4.

En la Tabla 3.23 constan los resultados del ensayo en mención.

**Tabla 3-23**

*Resultado de ensayo Proctor modificado base clase 4- mina "Doña Meche"*

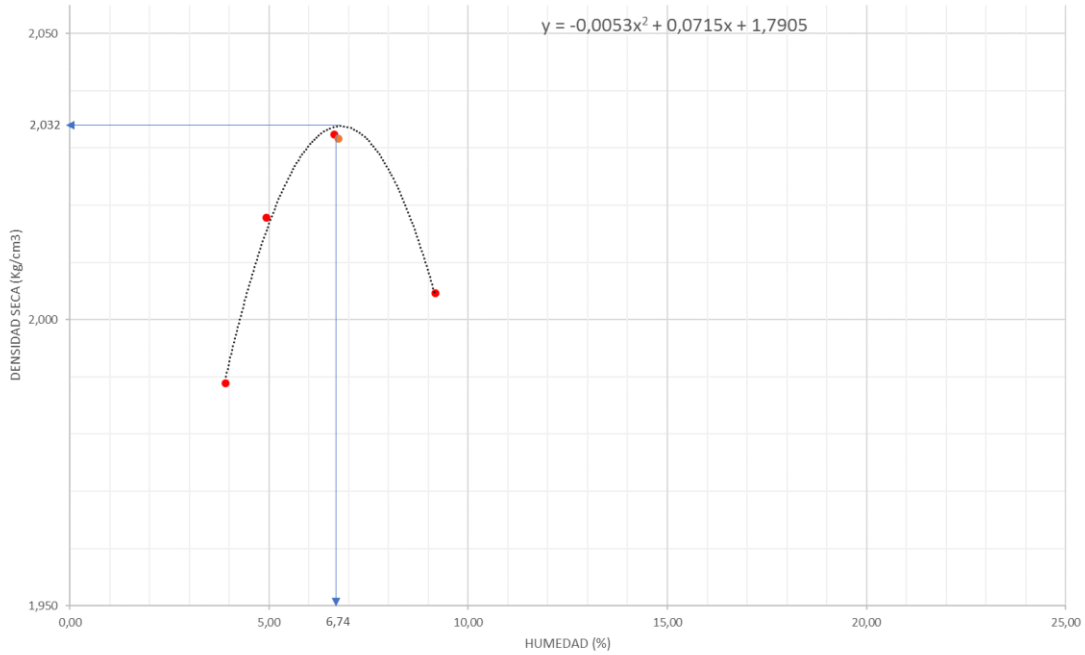
| DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| MUESTRA N.ª | 1 | | 2 | | 3 | | 4 | |
| No DE TARRO | 11 | 1 | 30 | 2 | 29 | 9 | 13 | 10 |
| PESO DEL TARRO (grs) | 33,21 | 33,05 | 33,08 | 31,08 | 31,71 | 33,80 | 32,83 | 32,58 |
| PESO DEL TARRO + MUESTRA HÚMEDA | 104,76 | 103,75 | 100,91 | 98,07 | 78,62 | 91,73 | 87,73 | 83,84 |
| PESO DEL TARRO + MUESTRA SECA (grs) | 102,13 | 101,02 | 97,61 | 95,02 | 75,70 | 88,12 | 83,07 | 79,58 |
| PESO DEL AGUA (grs) | 2,63 | 2,73 | 3,30 | 3,05 | 2,92 | 3,61 | 4,66 | 4,26 |

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| PESO DEL MATERIAL SECO (grs) | 68,9 | 68,0 | 64,5 | 63,9 | 44,0 | 54,3 | 50,2 | 47,0 |
| CONTENIDO DE HUMEDAD (grs) | 3,82 | 4,02 | 5,11 | 4,77 | 6,64 | 6,65 | 9,28 | 9,06 |
| % PROMEDIO | 3,92 | | 4,94 | | 6,64 | | 9,17 | |
| DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD | | | | | | | | |
| CONTENIDO DE HUMEDAD % | 3,92 | | 4,94 | | 6,64 | | 9,17 | |
| PESO DEL SUELO + MOLDE (grs) | 9995 | | 10103 | | 10209 | | 10254 | |
| PESO DEL MOLDE (grs) | 5592 | | 5592 | | 5592 | | 5592 | |
| PESO DEL SUELO (grs) | 4403 | | 4511 | | 4617 | | 4662 | |
| DENSIDAD HÚMEDA (grs/cm3) | 2,067 | | 2,118 | | 2,167 | | 2,188 | |
| DENSIDAD SECA (grs/cm3) | 1,989 | | 2,018 | | 2,032 | | 2,005 | |
| | | | | | Densidad Máxima (grs/cm3) | | 2,032 | |
| | | | | | Humedad Optima% | | 6,74 | |

Además, la Ilustración 3.13 muestra la curva de compactación base 4 – mina “Doña Meche”.

**Ilustración 3-13**

*Curva de compactación base clase 4– mina "Doña Meche"*




### 3.8.2 Proctor modificado subbase

- Proctor modificado subbase clase 1

A continuación, la Tabla 3.24 muestra los resultados del ensayo mencionado.

**Tabla 3-24**

*Resultado de ensayo Proctor modificado subbase clase 1- mina "Doña Meche"*

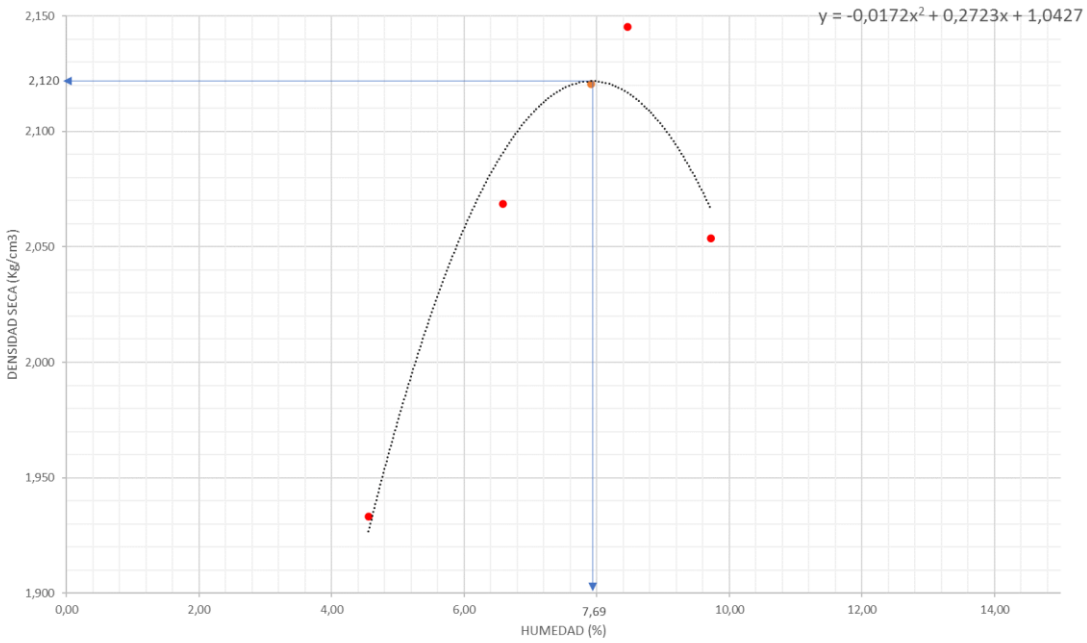
| DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| MUESTRA N. ª | 1 | | 2 | | 3 | | 4 | |
| No DE TARRO | 28 | 60 | 25 | 9 | 11 | 15 | 2 | 1 |
| PESO DEL TARRO (grs) | 33,11 | 33,86 | 32,34 | 33,80 | 33,21 | 32,41 | 31,08 | 33,05 |
| PESO DEL TARRO + MUESTRA HÚMEDA | 71,41 | 67,74 | 72,61 | 77,72 | 66,15 | 68,65 | 71,61 | 76,86 |

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| PESO DEL TARRO + MUESTRA SECA (grs) | 69,70 | 66,30 | 70,04 | 75,10 | 63,60 | 65,80 | 68,00 | 73,00 |
| PESO DEL AGUA (grs) | 1,71 | 1,44 | 2,57 | 2,62 | 2,55 | 2,85 | 3,61 | 3,86 |
| PESO DEL MATERIAL SECO (grs) | 36,6 | 32,4 | 37,7 | 41,3 | 30,4 | 33,4 | 36,9 | 40,0 |
| CONTENIDO DE HUMEDAD (grs) | 4,67 | 4,44 | 6,82 | 6,34 | 8,39 | 8,54 | 9,78 | 9,66 |
| % PROMEDIO | 4,56 | | 6,58 | | 8,46 | | 9,72 | |
| DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD | | | | | | | | |
| CONTENIDO DE HUMEDAD % | 4,56 | | 6,58 | | 8,46 | | 9,72 | |
| PESO DEL SUELO + MOLDE (grs) | 9898 | | 10289 | | 10549 | | 10392 | |
| PESO DEL MOLDE (grs) | 5592 | | 5592 | | 5592 | | 5592 | |
| PESO DEL SUELO (grs) | 4306 | | 4697 | | 4957 | | 4800 | |
| DENSIDAD HÚMEDA (grs/cm3) | 2,021 | | 2,205 | | 2,327 | | 2,253 | |
| DENSIDAD SECA (grs/cm3) | 1,933 | | 2,069 | | 2,145 | | 2,054 | |
| | | | | | Densidad Máxima (grs/cm3) | | 2,120 | |
| | | | | | Humedad Optima% | | 7,92 | |

La curva de compactación subbase case 1 – mina, se la puede observar en la Ilustración 3.14.

**Ilustración 3-14**

*Curva de compactación subbase clase 1– mina "Doña Meche"*




- Proctor modificado subbase clase 2

Por su parte, la Tabla 3.25 indica los resultados del ensayo.

**Tabla 3-25**

*Resultado de ensayo Proctor modificado subbase clase 2- mina "Doña Meche"*

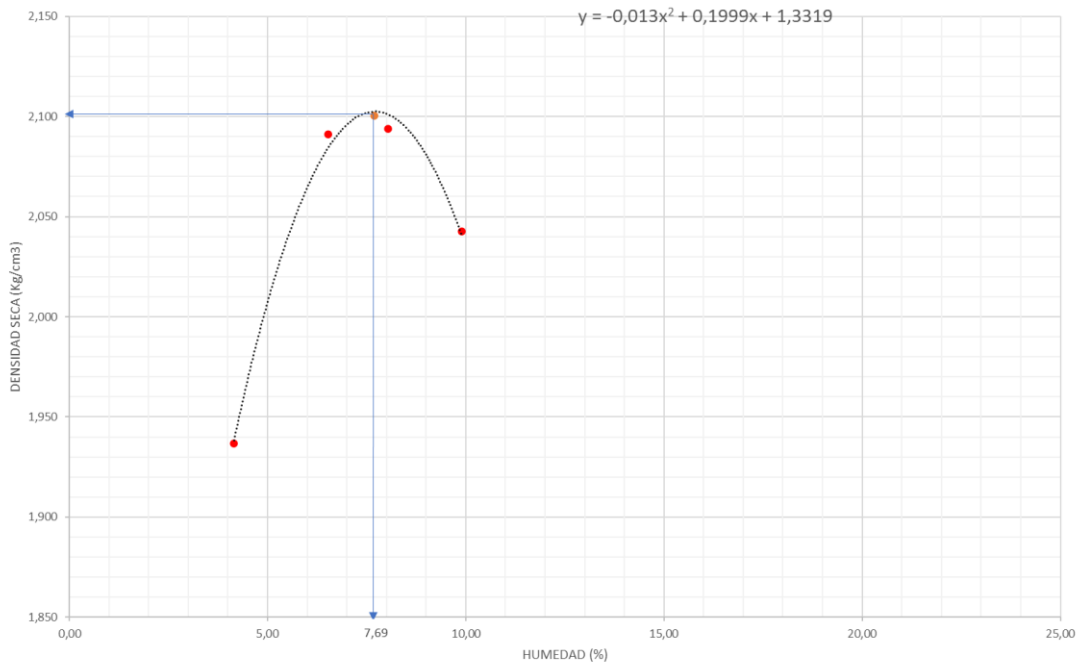
| DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| MUESTRA Nº | 1 | | 2 | | 3 | | 4 | |
| Nª DE TARRO | 24 | 3 | 17 | 121 | 10 | 30 | 29 | 101 |
| PESO DEL TARRO (grs) | 32,45 | 32,22 | 32,08 | 33,47 | 32,58 | 33,08 | 31,71 | 33,08 |
| PESO DEL TARRO + MUESTRA HÚMEDA | 140,11 | 126,55 | 139,93 | 134,93 | 152,96 | 129,57 | 134,66 | 124,26 |
| PESO DEL TARRO+ MUESTRA SECA (grs) | 135,97 | 122,66 | 133,33 | 128,69 | 143,94 | 122,44 | 125,37 | 116,06 |

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| PESO DEL AGUA (grs) | 4,14 | 3,89 | 6,60 | 6,24 | 9,02 | 7,13 | 9,29 | 8,20 |
| PESO DEL MATERIAL SECO (grs) | 103,5 | 90,4 | 101,3 | 95,2 | 111,4 | 89,4 | 93,7 | 83,0 |
| CONTENIDO DE HUMEDAD (grs) | 4,00 | 4,30 | 6,52 | 6,55 | 8,10 | 7,98 | 9,92 | 9,88 |
| % PROMEDIO | 4,15 | | 6,54 | | 8,04 | | 9,90 | |
| DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD | | | | | | | | |
| CONTENIDO DE HUMEDAD % | 4,15 | | 6,54 | | 8,04 | | 9,90 | |
| PESO DEL SUELO + MOLDE (grs) | 9889 | | 10338 | | 10411 | | 10374 | |
| PESO DEL MOLDE (grs) | 5592 | | 5592 | | 5592 | | 5592 | |
| PESO DEL SUELO (grs) | 4297 | | 4746 | | 4819 | | 4782 | |
| DENSIDAD HÚMEDA (grs/cm3) | 2,017 | | 2,228 | | 2,262 | | 2,245 | |
| DENSIDAD SECA (grs/cm3) | 1,937 | | 2,091 | | 2,094 | | 2,042 | |
| | | | | | Densidad Máxima (grs/cm3) | | 2,100 | |
| | | | | | Humedad Optima% | | 7,69 | |

La Ilustración 3.15, muestra la curva de compactación subbase clase 2.

**Ilustración 3-15**

*Curva de compactación subbase clase 2– mina "Doña Meche"*




Así mismo, la Tabla 3.26 muestra los resultados del ensayo.

**Tabla 3-26**

*Resultado de ensayo Proctor modificado subbase clase 3- mina "Doña Meche"*

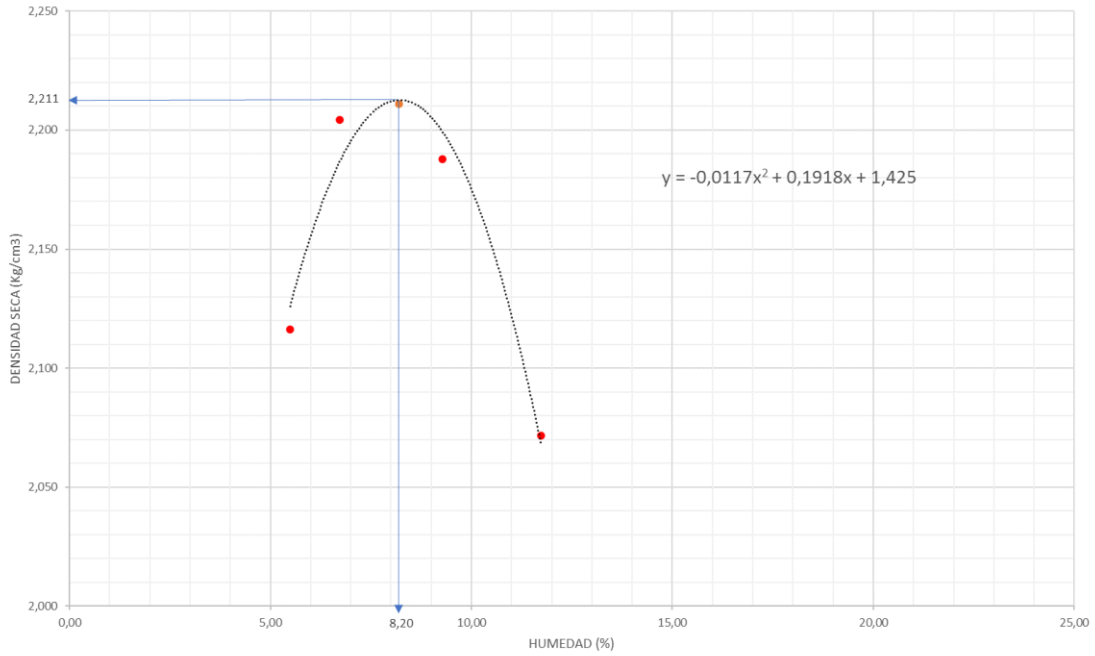
| DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| MUESTRA Nº | 1 | | 2 | | 3 | | 4 | |
| Nª DE TARRO | 1 | 2 | 11 | 15 | 28 | 60 | 25 | 9 |
| PESO DEL TARRO (grs) | 33,05 | 31,08 | 33,21 | 32,41 | 33,11 | 33,86 | 32,34 | 33,80 |
| PESO DEL TARRO + MUESTRA HÚMEDA | 72,80 | 64,70 | 63,10 | 56,10 | 67,90 | 62,50 | 64,40 | 70,00 |
| PESO DEL TARRO+ MUESTRA SECA (grs) | 70,58 | 63,08 | 61,32 | 54,53 | 64,98 | 60,04 | 61,04 | 66,19 |
| PESO DEL AGUA (grs) | 2,22 | 1,62 | 1,78 | 1,57 | 2,92 | 2,46 | 3,36 | 3,81 |
| PESO DEL MATERIAL SECO (grs) | 37,5 | 32,0 | 28,1 | 22,1 | 31,9 | 26,2 | 28,7 | 32,4 |

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| CONTENIDO DE HUMEDAD (grs) | 5,92 | 5,06 | 6,33 | 7,10 | 9,16 | 9,40 | 11,71 | 11,76 |
| % PROMEDIO | 5,49 | | 6,71 | | 9,28 | | 11,74 | |
| DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD | | | | | | | | |
| CONTENIDO DE HUMEDAD % | 5,49 | | 6,71 | | 9,28 | | 11,74 | |
| PESO DEL SUELO+MOLDE (grs) | 10348 | | 10603 | | 10685 | | 10523 | |
| PESO DEL MOLDE (grs) | 5592 | | 5592 | | 5592 | | 5592 | |
| PESO DEL SUELO (grs) | 4756 | | 5011 | | 5093 | | 4931 | |
| DENSIDAD HÚMEDA (grs/cm3) | 2,233 | | 2,352 | | 2,391 | | 2,315 | |
| DENSIDAD SECA (grs/cm3) | 2,116 | | 2,204 | | 2,188 | | 2,072 | |
| | | | | | Densidad Máxima (grs/cm3) | | 2,211 | |
| | | | | | Humedad Optima% | | 8,20 | |

De la misma manera en la Ilustración 3.16, curva de compactación subbase clase 3 – mina “Doña Meche”.

**Ilustración 3-16**

*Curva de compactación subbase clase 3 – mina "Doña Meche"*




- CBR base clase 1A

A continuación, la Tabla 3.27 muestra los resultados del ensayo.

**Tabla 3-27**

*Tabla de compactación de ensayo CBR para base clase 1A- mina "Doña Meche"*

| COMPACTACIÓN | | | |
|---|---|---|---|
| MOLDE No.: | 5 | 11 | 17 |
| Golpes/capa | 56 | 25 | 10 |
| Peso comp.: | 11.248 | 11.121 | 10.989 |
| Peso molde: | 6.249 | 6.191 | 6.184 |
| Peso suelo: | 4.999 | 4.930 | 4.805 |
| Volumen: | 2.116 | 2.138 | 2.118 |
| Dens. Hum: | 2.363 | 2.306 | 2.269 |
| CONTENIDOS DE HUMEDAD DE MOLDEO: | | | |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| W. húmedo: | 80,61 | 84,70 | 113,24 | 107,40 | 122,71 | 118,70 |
| W. seco: | 77,28 | 80,95 | 107,75 | 102,55 | 116,47 | 112,73 |
| W. capsula: | 32,34 | 33,47 | 32,58 | 33,08 | 32,45 | 32,22 |
| w (%): | 7,41 | 7,90 | 7,30 | 6,98 | 7,43 | 7,42 |
| w (%) prom.: | 7,65 | | 7,14 | | 7,42 | |
| Dens. Seca: | 2.195 | | 2.152 | | 2.112 | |
| CONTENIDOS DE HUMEDAD LUEGO DE LA SATURACIÓN: | | | | | | |
| W. húmedo: | 204,30 | 165,44 | 180,33 | 166,46 | 169,77 | 215,44 |
| W. seco: | 193,02 | 155,71 | 170,24 | 155,92 | 156,54 | 200,08 |
| W. capsula: | 48,66 | 32,63 | 49,65 | 31,84 | 33,30 | 48,12 |
| w (%) : | 7,81 | 7,91 | 8,37 | 8,49 | 10,74 | 10,11 |
| w(%) prom.: | 7,86 | | 8,43 | | 10,42 | |
| PORCENTAJE DE AGUA ABSORBIDA: | | | | | | |
| Peso satr.: | 11.263 | | 11.136 | | 11.117 | |
| Peso molde`base gr | 6.249 | | 6.191 | | 6.184 | |
| Agua abs. : | 15 | | 15 | | 128 | |
| % agua ab.: | 0,30 | | 0,30 | | 2,66 | |

La información de expansión de ensayo CBR para base clase 1A – mina “Doña Meche”, se presenta en la Tabla 3.28.

**Tabla 3-28**

*Tabla de expansión de ensayo CBR para base clase 1A- mina “Doña Meche”*

| EXPANSIÓN | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| MOLDE No.: | 5 | | | 11 | | | 17 | | |
| Tiempo (días) | dial | pulgadas | % | dial | pulgadas | % | dial | pulgadas | % |
| 0 | 0 | 0,00 | 0,00 | 0 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0,00 |
| 1 | 3 | 0,003 | 2,153 | 5 | 0,005 | 3,859 | 1 | 0,001 | 0,858 |
| 2 | 5 | 0,005 | 3,876 | 6 | 0,006 | 5,146 | 3 | 0,003 | 2,573 |

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 3 | 5 | 0,005 | 3,876 | 7 | 0,007 | 6,003 | 3 | 0,003 | 2,573 |
| 4 | 5 | 0,005 | 3,876 | 7 | 0,007 | 6,003 | 3 | 0,003 | 2,573 |
| 5 | 5 | 0,005 | 3,876 | 7 | 0,007 | 6,003 | 3 | 0,003 | 2,573 |

Por su parte, la Tabla 3.29 muestra la penetración de ensayo CBR para base clase 1A- mina “Doña Meche”.

**Tabla 3-29**

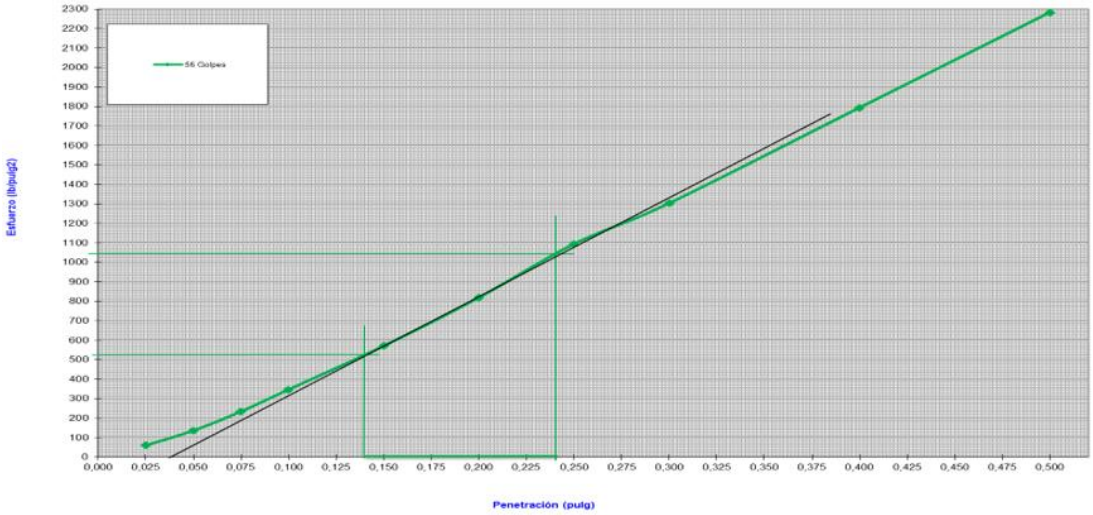
*Tabla de penetración de ensayo CBR para base clase 1A- mina “Doña Meche”*

| PENETRACIÓN | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| MOLDE No.: | | 5 | | | 11 | | | 17 | |
| Nª de golpes | | 56 | | | 25 | | | 10 | |
| penetración (pulgadas) | dial | presión lb/plg2 | Esfuerzos corregidos | dial | presión lb/plg2 | Esfuerzos corregidos | dial | presión lb/plg2 | Esfuerzos corregidos |
| 0,000 | 0 | 0,00 | | 0 | 0,00 | | 0 | 0,00 | |
| 0,025 | 182 | 60,67 | | 40 | 13,33 | | 22 | 7,33 | |
| 0,050 | 410 | 136,67 | | 108 | 36,00 | | 55 | 18,33 | |
| 0,075 | 703 | 234,33 | | 221 | 73,67 | | 103 | 34,33 | |
| 0,100 | 1040 | 346,67 | 530,00 | 404 | 134,67 | 490,00 | 166 | 55,33 | 238,00 |
| 0,150 | 1712 | 570,67 | | 930 | 310,00 | | 336 | 112,00 | |
| 0,200 | 2456 | 818,67 | 1.040,00 | 1652 | 550,67 | 1.030,00 | 546 | 182,00 | 475,00 |
| 0,250 | 3281 | 1.093,67 | | 2447 | 815,67 | | 838 | 279,33 | |
| 0,300 | 3909 | 1.303,00 | | 3227 | 1.075,67 | | 1200 | 400,00 | |
| 0,400 | 5379 | 1.793,00 | | 4838 | 1.612,67 | | 1997 | 665,67 | |
| 0,500 | 6846 | 2.282,00 | | 6672 | 2.224,00 | | 3075 | 1.025,00 | |

La Ilustración 3.17 corresponde a la gráfica de esfuerzo vs. deformación - 56 golpes - base clase de 1a mina “Doña Meche”.

**Ilustración 3-17**

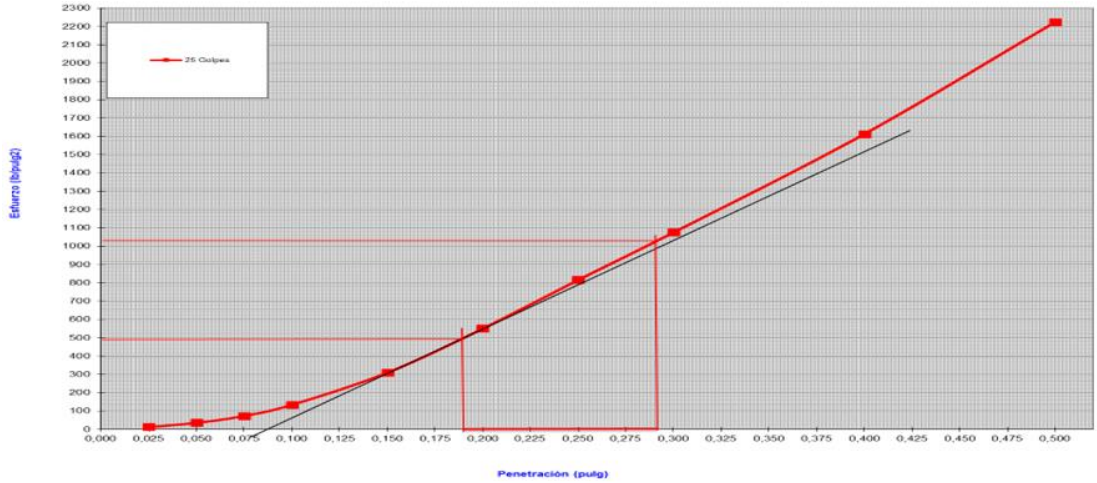
*Gráfica de esfuerzo vs deformación - 56 golpes - base clase de 1a mina "Doña Meche"*




La Ilustración 3.18 corresponde a la gráfica de esfuerzo vs deformación - 25 golpes - base clase 1a de la mina "Doña Meche".

**Ilustración 3-18**

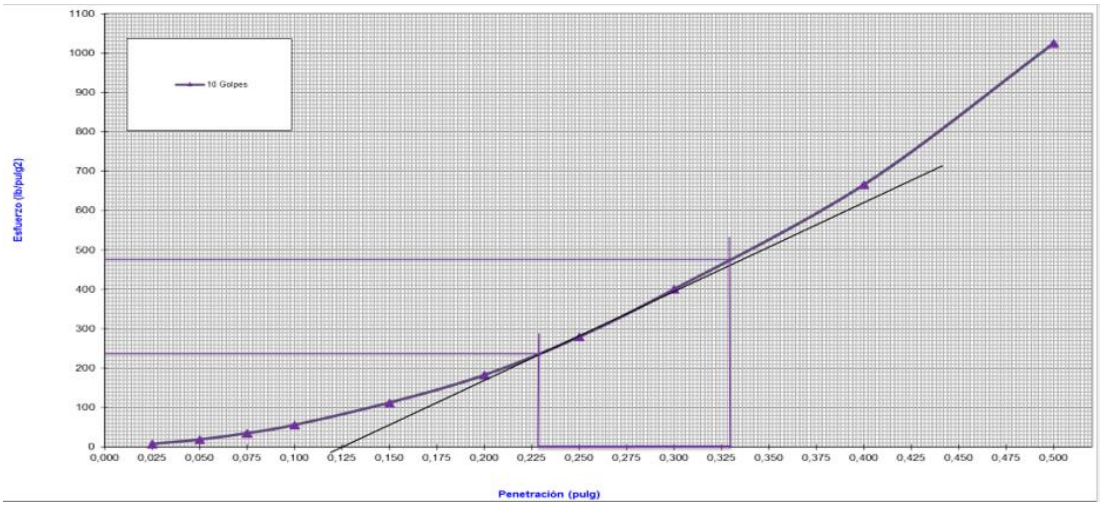
*Gráfica de esfuerzo vs deformación - 25 golpes -base clase 1a de la mina "Doña Meche"*




La Ilustración 3.19, es la gráfica de esfuerzo vs deformación - 10 golpes -base clase 1A de la mina "Doña Meche"

**Ilustración 3-19**

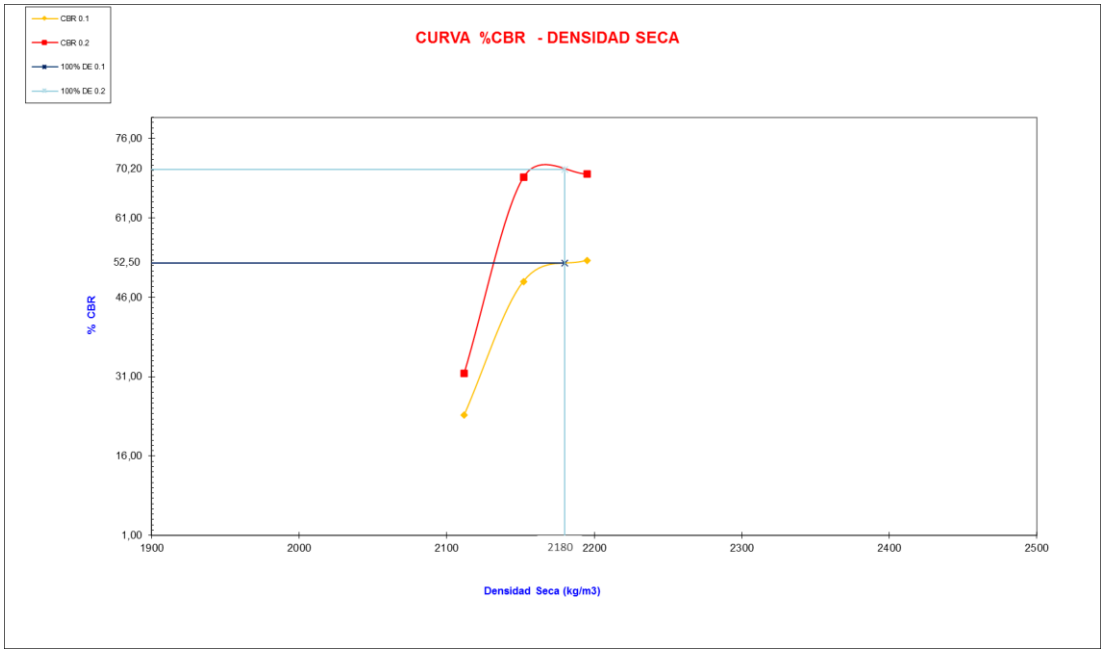
*Gráfica de esfuerzo vs deformación - 10 golpes -base clase 1A de la mina "Doña Meche"*



La Ilustración 3.20 corresponde a la gráfica de % de CBR. vs densidad seca - base clase 1A de la mina “Doña Meche”.

**Ilustración 3-20**

*Gráfica de % de CBR vs densidad seca - base clase 1A de la mina “Doña Meche”*




Además, la Tabla 3.30 detalla los valores de CBR obtenidos para base clase 1A de la mina “Doña Meche”.

**Tabla 3-30**

*Valores de CBR obtenidos para base clase 1A de la mina “Doña Meche”*

| VALORES DE CBR | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Nª de golpes | Presión(lb/plg2) | Valor CBR 0.1" | Presión(lb/plg2) | Valor CBR 0.2" |
| 56 | 530,00 | 53,00 | 1.040,00 | 69,33 |
| 25 | 490,00 | 49,00 | 1.030,00 | 68,67 |
| 10 | 238,00 | 23,80 | 475,00 | 31,67 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| % CBR (100% gd máx..) 0,1"= | **52,50** | % CBR (100% gd máx..) 0,2" = | **70,20** |

- CBR base clase 2

En la Tabla 3.31 consta la información de compactación de ensayo CBR para base clase 2- mina "Doña Meche".

**Tabla 3-31**

*Tabla de compactación de ensayo CBR para base clase 2- mina "Doña Meche"*

| COMPACTACIÓN | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| MOLDE No.: | 17 | | 12 | | 26 | |
| Golpes/capa | 56 | | 25 | | 10 | |
| Peso comp.: | **11.002** | | **10.860** | | **10.439** | |
| Peso molde: | **6.184** | | **6.261** | | **6.246** | |
| Peso suelo: | 4.818 | | 4.599 | | 4.193 | |
| Volumen : | 2.118 | | 2.127 | | 2.106 | |
| Dens. Hum: | 2.275 | | 2.162 | | 1.991 | |
| CONTENIDOS DE HUMEDAD DE MOLDEO: | | | | | | |
| W. húmedo: | **71,42** | **74,61** | **80,56** | **99,51** | **81,07** | **84,92** |
| W. seco: | **69,16** | **72,16** | **77,61** | **95,57** | **78,09** | **81,87** |
| W. capsula: | **32,34** | **33,47** | **31,71** | **32,83** | **33,11** | **33,05** |
| w (%) : | 6,14 | 6,33 | 6,43 | 6,28 | 6,63 | 6,25 |
| w (%) prom.: | 6,24 | | 6,35 | | 6,44 | |
| Dens. Seca: | 2.141 | | 2.033 | | 1.871 | |
| CONTENIDOS DE HUMEDAD LUEGO DE LA SATURACION: | | | | | | |
| W. húmedo: | **70,42** | **67,84** | **60,70** | **71,47** | **77,80** | **76,46** |
| W. seco: | **67,58** | **65,47** | **58,58** | **68,48** | **74,39** | **72,97** |
| W. capsula: | **33,47** | **32,08** | **31,88** | **31,71** | **33,11** | **32,34** |
| w (%): | 8,33 | 7,10 | 7,94 | 8,13 | 8,26 | 8,59 |
| w(%) prom.: | 7,71 | | 8,04 | | 8,43 | |

| PORCENTAJE DE AGUA ABSORBIDA: | | | |
|---|---|---|---|
| Peso satr.: | **11.278** | **11.655** | **11.034** |
| Peso molde`base gr | **6.184** | **6.261** | **6.246** |
| Agua abs. : | 276 | 795 | 595 |
| % agua ab.: | 5,73 | 17,29 | 14,19 |

Por su parte, la Tabla 3.32 brinda información sobre la expansión de ensayo CBR para base clase 2- mina "Doña Meche"

**Tabla 3-32**

*Tabla de expansión de ensayo CBR para base clase 2- mina "Doña Meche"*

| EXPANSIÓN | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| MOLDE No.: | 17 | | | 12 | | | 26 | | |
| Tiempo (días) | dial | pulgadas | % | dial | pulgadas | % | dial | pulgadas | % |
| 0 | 0 | 0,00 | 0,00 | 0 | 0,000 | 0,00 | 0 | 0,000 | 0,00 |
| 1 | 1 | 0,001 | 0,431 | 1 | 0,001 | 0,429 | 3 | 0,003 | 2,163 |
| 2 | 1 | 0,001 | 0,431 | 1 | 0,001 | 0,429 | 3 | 0,003 | 2,163 |
| 3 | 1 | 0,001 | 0,431 | 1 | 0,001 | 0,429 | 3 | 0,003 | 2,163 |
| 4 | 1 | 0,001 | 0,431 | 1 | 0,001 | 0,429 | 3 | 0,003 | 2,163 |
| 5 | 1 | 0,001 | 0,431 | 1 | 0,001 | 0,429 | 3 | 0,003 | 2,163 |

Además, la Tabla 3.33 indica datos sobre la penetración de ensayo CBR para base clase 2- mina "Doña Meche".

**Tabla 3-33**

*Tabla de penetración de ensayo CBR para base clase 2- mina "Doña Meche"*

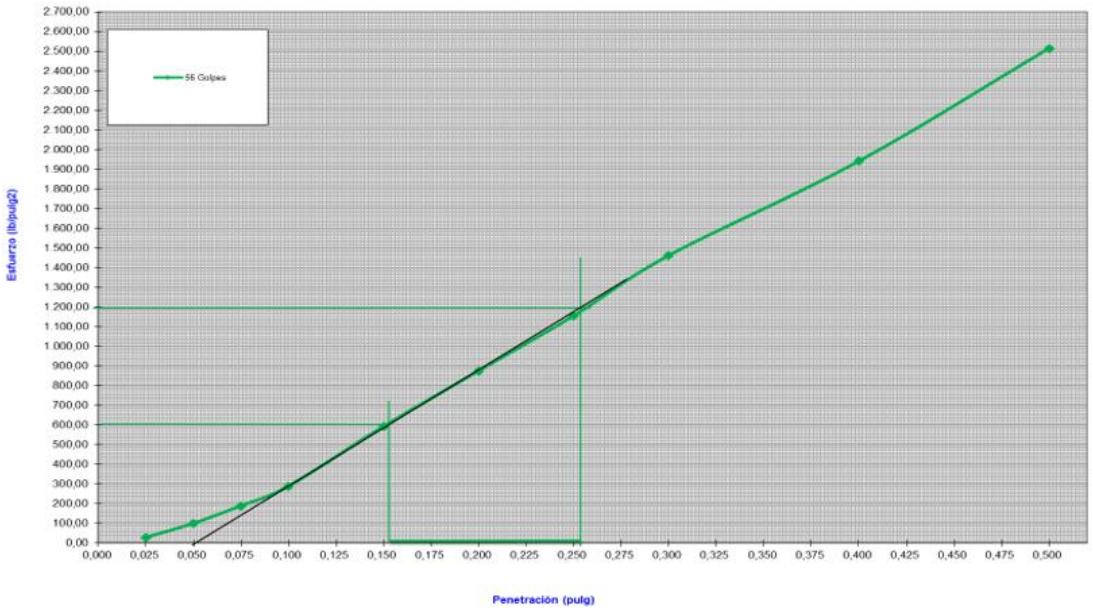
| PENETRACIÓN | | | |
|---|---|---|---|
| MOLDE No.: | 17 | 12 | 26 |
| Nª de golpes | 56 | 25 | 10 |

| penetración (pulgadas) | dial | presión lb/plg2 | Esfuerzos corregidos | dial | presión lb/plg2 | Esfuerzos corregidos | dial | presión lb/plg2 | Esfuerzos corregidos |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0,000 | 0 | 0,00 | | 0 | 0,00 | | 0 | 0,00 | |
| 0,025 | 85 | 28,33 | | 97 | 32,33 | | 188 | 62,67 | |
| 0,050 | 298 | 99,33 | | 544 | 181,33 | | 550 | 183,33 | |
| 0,075 | 566 | 188,67 | | 998 | 332,67 | | 912 | 304,00 | |
| 0,100 | 864 | 288,00 | 600,00 | 1349 | 449,67 | 550,00 | 1264 | 421,33 | 510,00 |
| 0,150 | 1776 | 592,00 | | 2390 | 796,67 | | 1937 | 645,67 | |
| 0,200 | 2623 | 874,33 | 1.190,00 | 3380 | 1.126,67 | 1.220,00 | 2620 | 873,33 | 980,00 |
| 0,250 | 3462 | 1.154,00 | | 4344 | 1.448,00 | | 3340 | 1.113,33 | |
| 0,300 | 4382 | 1.460,67 | | 5187 | 1.729,00 | | 3941 | 1.313,67 | |
| 0,400 | 5821 | 1.940,33 | | 6780 | 2.260,00 | | 5023 | 1.674,33 | |
| 0,500 | 7542 | 2.514,00 | | 8101 | 2.700,33 | | 6731 | 2.243,55 | |

Así también, la Ilustración 3.21 muestra la gráfica de esfuerzo vs deformación - 56 golpes -base clase 2 de la mina “Doña Meche”.

**Ilustración 3-21**

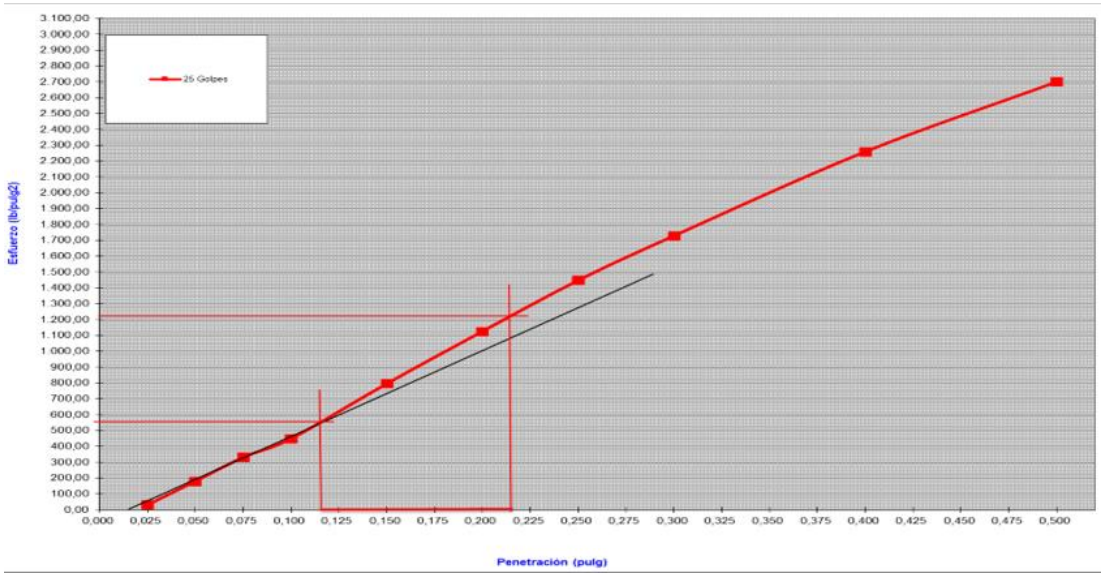
*Gráfica de esfuerzo vs deformación - 56 golpes -base clase 2 de la mina "Doña Meche"*




La Ilustración 3.22 consiste en la gráfica de esfuerzo vs deformación - 25 golpes -base clase 2 de la mina "Doña Meche".

**Ilustración 3-22**

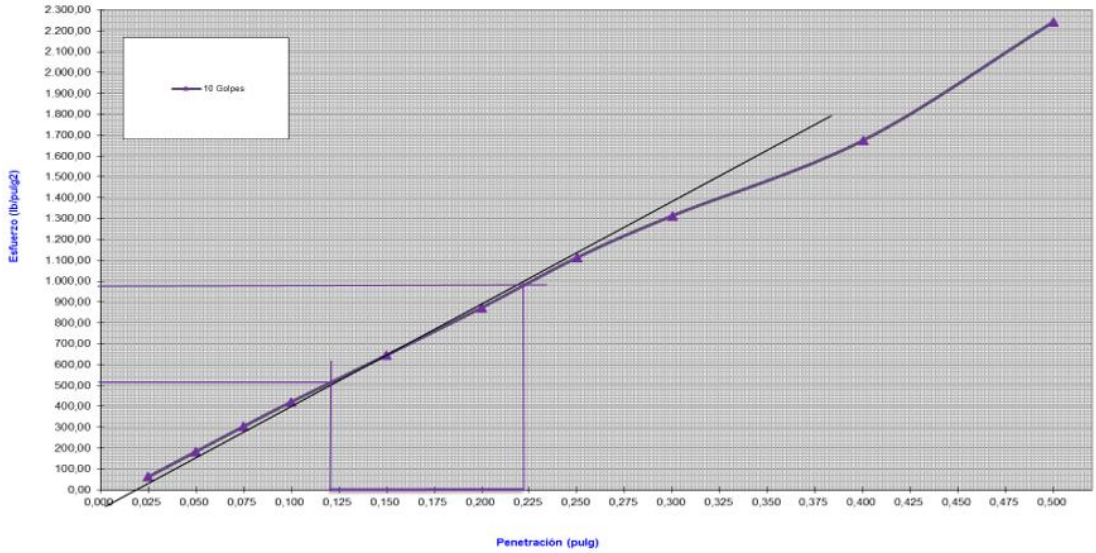
*Gráfica de esfuerzo vs deformación – 25 golpes -base clase 2 de la mina "Doña Meche"*




Por otro lado, la Ilustración 3.23 muestra la gráfica de esfuerzo vs deformación - 10 golpes -base clase 2 de la mina "Doña Meche".

**Ilustración 3-23**

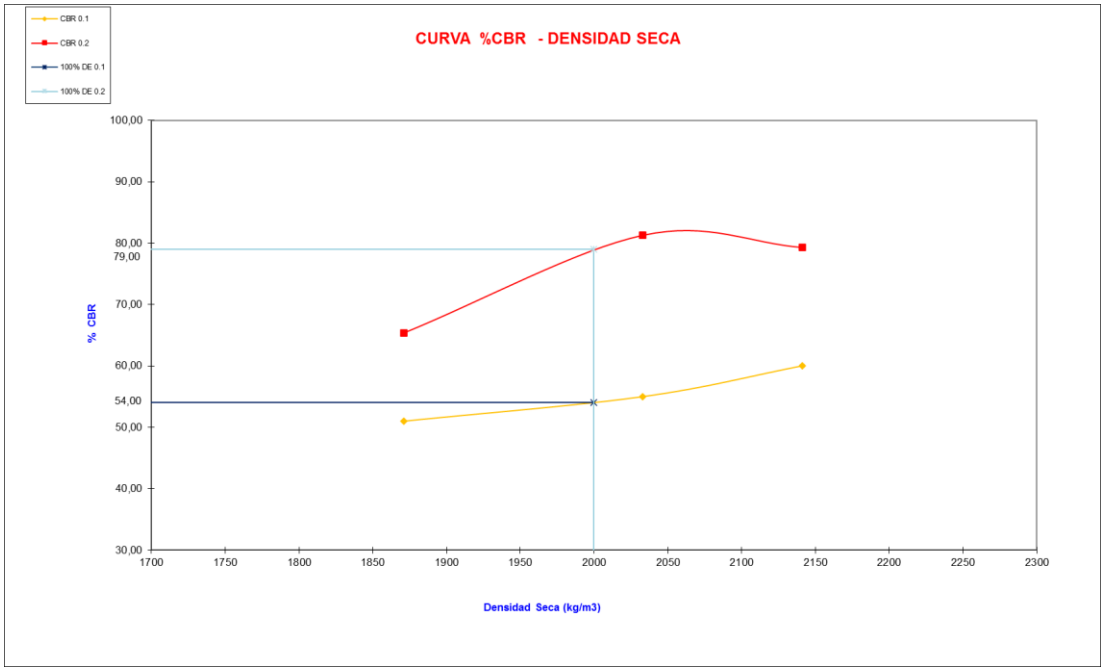
*Gráfica de esfuerzo vs deformación - 10 golpes -base clase 2 de la mina "Doña Meche"*




Así también, la Ilustración 3.24, detalla el porcentaje de CBR vs. densidad seca-base clase 2 de la mina "Doña Meche"

**Ilustración 3-24**

*Gráfica del % de CBR vs. densidad seca-base clase 2 de la mina "Doña Meche"*




A continuación, en la Tabla 3.34 constan los valores de CBR obtenidos para base clase 2 de la mina "Doña Meche"

**Tabla 3-34**

*Valores de CBR obtenidos para base clase 2 de la mina "Doña Meche"*

| VALORES DE CBR | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Nª de golpes | Presión(lb/plg2) | Valor CBR 0.1" | Presión(lb/plg2) | Valor CBR 0.2" |
| 56 | 600,00 | 60,00 | 1.190,00 | 79,33 |
| 25 | 550,00 | 55,00 | 1.220,00 | 81,33 |
| 10 | 510,00 | 51,00 | 980,00 | 65,33 |
| | % CBR (100% gd máx..) 0,1"= | **54,00** | % CBR (100% gd máx..) 0,2" = | **79,00** |

- CBR base clase 3

La Tabla 3.35, indica la compactación de ensayo CBR para base clase 3- de la mina "Doña Meche".

**Tabla 3-35**

*Tabla de compactación de ensayo CBR para base clase 3- de la mina "Doña Meche".*

| COMPACTACIÓN | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| MOLDE No.: | 17 | | 22 | | 5 | |
| Golpes/capa | 56 | | 25 | | 10 | |
| Peso comp.: | **11.140** | | **10.944** | | **10.666** | |
| Peso molde: | **6.184** | | **6.261** | | **6.246** | |
| Peso suelo: | 4.956 | | 4.683 | | 4.420 | |
| Volumen: | 2.118 | | 2.127 | | 2.116 | |
| Dens. Hum: | 2.340 | | 2.202 | | 2.089 | |
| CONTENIDOS DE HUMEDAD DE MOLDEO: | | | | | | |
| W. húmedo: | **79,31** | **88,90** | **93,99** | **81,53** | **84,15** | **85,37** |
| W. seco: | **75,66** | **84,62** | **88,94** | **77,59** | **80,36** | **81,41** |
| W. capsula: | **31,88** | **32,34** | **32,55** | **31,09** | **33,79** | **33,24** |
| w (%) : | 8,34 | 8,19 | 8,96 | 8,47 | 8,14 | 8,22 |
| w (%) prom.: | 8,26 | | 8,71 | | 8,18 | |
| Dens. Seca: | 2.162 | | 2.025 | | 1.931 | |
| CONTENIDOS DE HUMEDAD LUEGO DE LA SATURACIÓN: | | | | | | |
| W. húmedo: | **70,50** | **66,75** | **70,86** | **70,30** | **76,37** | **72,33** |
| W. seco : | **66,69** | **63,75** | **67,09** | **66,33** | **72,45** | **68,74** |
| W. capsula: | **33,08** | **32,63** | **33,60** | **33,20** | **33,59** | **33,47** |
| w (%): | 11,34 | 9,64 | 11,26 | 11,98 | 10,09 | 10,18 |
| w(%) prom.: | 10,49 | | 11,62 | | 10,13 | |
| PORCENTAJE DE AGUA ABSORBIDA: | | | | | | |
| Peso satr.: | **11.256** | | **11.276** | | **11.208** | |
| Peso molde`base gr | **6.184** | | **6.261** | | **6.246** | |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Agua abs. : | 116 | 332 | 542 |
| % agua ab.: | 2,34 | 7,09 | 12,26 |

También, la Tabla 3.36 contiene los datos de expansión de ensayo CBR para base clase 3- de la mina "Doña Meche".

**Tabla 3-36**

*Tabla de expansión de ensayo CBR para base clase 3- de la mina "Doña Meche"*

| EXPANSIÓN | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| MOLDE No.: | 17 | | | 22 | | | 5 | | |
| Tiempo (días) | dial | pulgadas | % | dial | pulgadas | % | dial | pulgadas | % |
| 0 | 0 | 0,000 | 0,000 | 0 | 0,000 | 0,000 | 0 | 0,000 | 0,000 |
| 1 | 1 | 0,001 | 0,861 | 1 | 0,001 | 0,858 | 2 | 0,002 | 1,286 |
| 2 | 1 | 0,001 | 0,861 | 1 | 0,001 | 0,858 | 3 | 0,003 | 2,144 |
| 3 | 1 | 0,001 | 0,861 | 1 | 0,001 | 0,858 | 3 | 0,003 | 2,144 |
| 4 | 1 | 0,001 | 0,861 | 1 | 0,001 | 0,858 | 3 | 0,003 | 2,144 |
| 5 | 1 | 0,001 | 0,861 | 1 | 0,001 | 0,858 | 3 | 0,003 | 2,144 |

Así mismo, en la Tabla 3.37 se pueden encontrar los datos sobre la penetración de ensayo CBR para base clase 3 de la mina "Doña Meche".

**Tabla 3-37**

*Tabla de penetración de ensayo CBR para base clase 3 de la mina "Doña Meche"*

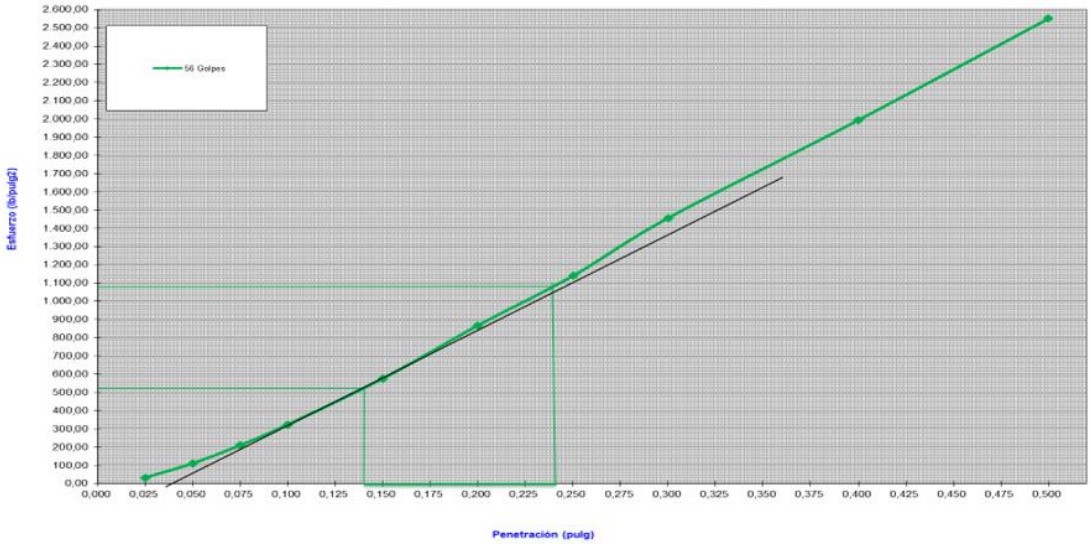
| PENETRACIÓN | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| MOLDE No.: | 17 | | | 22 | | | 5 | | |
| Nª de golpes | 56 | | | 25 | | | 10 | | |
| penetración (pulgadas) | dial | presión lb/plg2 | Esfuerzos corregidos | dial | presión lb/plg2 | Esfuerzos corregidos | dial | presión lb/plg2 | Esfuerzos corregidos |
| 0,000 | 0 | 0,00 | | 0 | 0,00 | | 0 | 0,00 | |

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0,025 | 97 | 32,33 | | 17 | 5,67 | | 42 | 14,00 | |
| 0,050 | 332 | 110,67 | | 63 | 21,00 | | 95 | 31,67 | |
| 0,075 | 629 | 209,67 | | 145 | 48,33 | | 175 | 58,33 | |
| 0,100 | 971 | 323,67 | 520,00 | 256 | 85,33 | 480,00 | 295 | 98,33 | 98,33 |
| 0,150 | 1728 | 576,00 | | 627 | 209,00 | | 648 | 216,00 | |
| 0,200 | 2602 | 867,33 | 1.080,00 | 1115 | 371,67 | 930,00 | 1136 | 378,67 | 378,67 |
| 0,250 | 3419 | 1.139,67 | | 1781 | 593,67 | | 1819 | 606,33 | |
| 0,300 | 4371 | 1.457,00 | | 2466 | 822,00 | | 2543 | 847,67 | |
| 0,400 | 5983 | 1.994,33 | | 4006 | 1.335,33 | | 4177 | 1.392,33 | |
| 0,500 | 7654 | 2.551,33 | | 5456 | 1.818,67 | | 5771 | 1.923,67 | |

La Ilustración 3.25, enseña el esfuerzo vs. deformación - 56 golpes -base clase 3 de la mina “Doña Meche”.

**Ilustración 3-25**

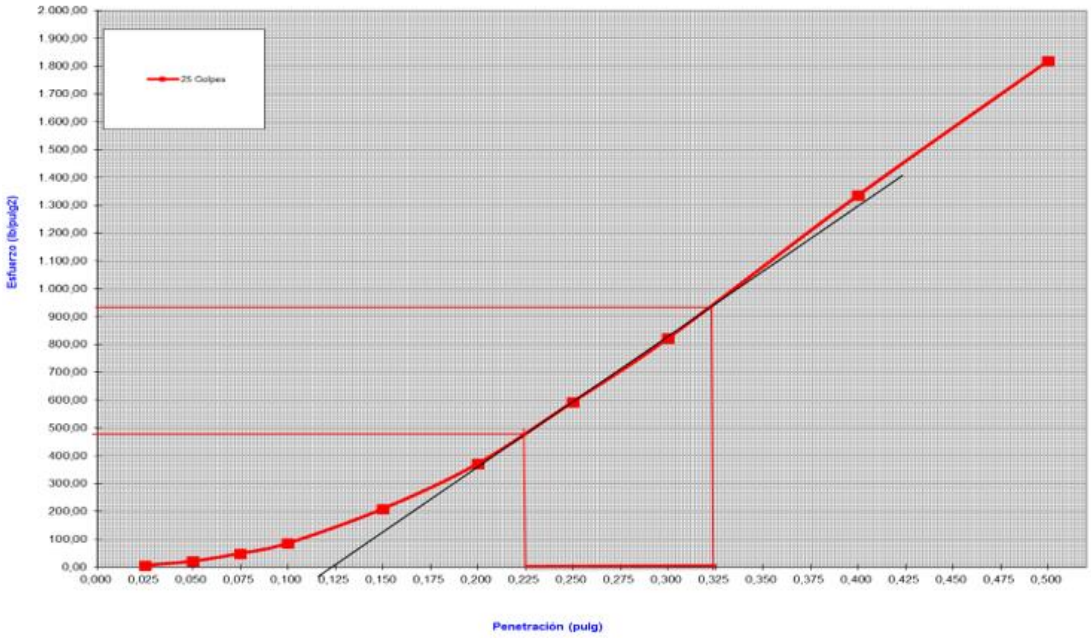
*Gráfica de esfuerzo vs. deformación - 56 golpes -base clase 3 de la mina “Doña Meche”*




La Ilustración 3.26, enseña la gráfica de esfuerzo vs. deformación - 25 golpes -base clase 3 de la mina “Doña Meche”.

**Ilustración 3-26**

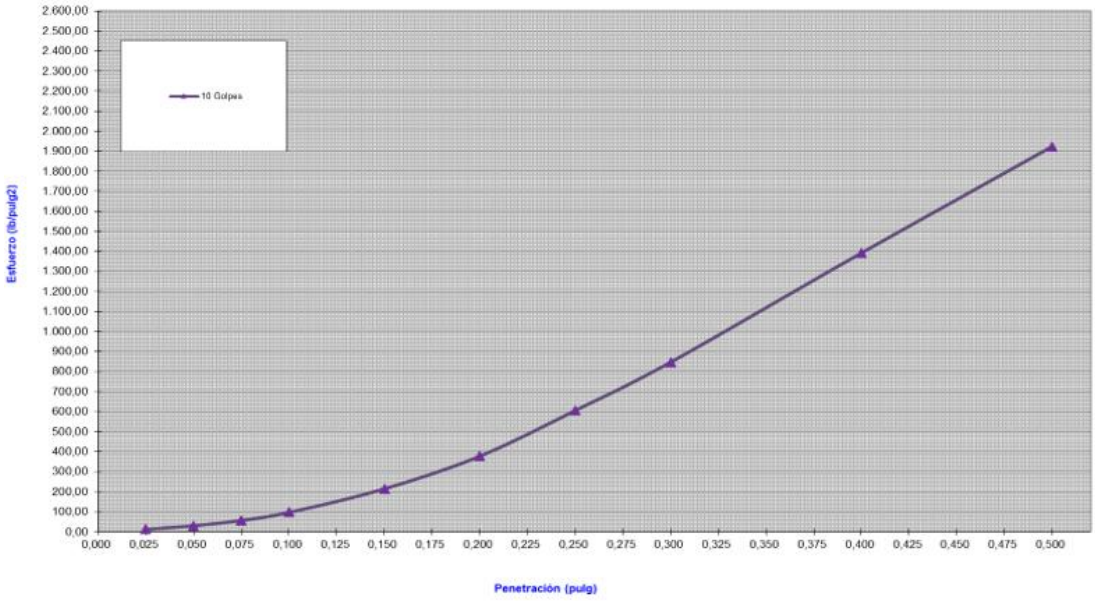
*Gráfica de esfuerzo vs. deformación - 25 golpes -base clase 3 de la mina "Doña Meche"*




A su vez, la Ilustración 3.27 gráfica del esfuerzo vs. deformación -10 golpes-base clase 3 de la mina "Doña Meche".

**Ilustración 3-27**

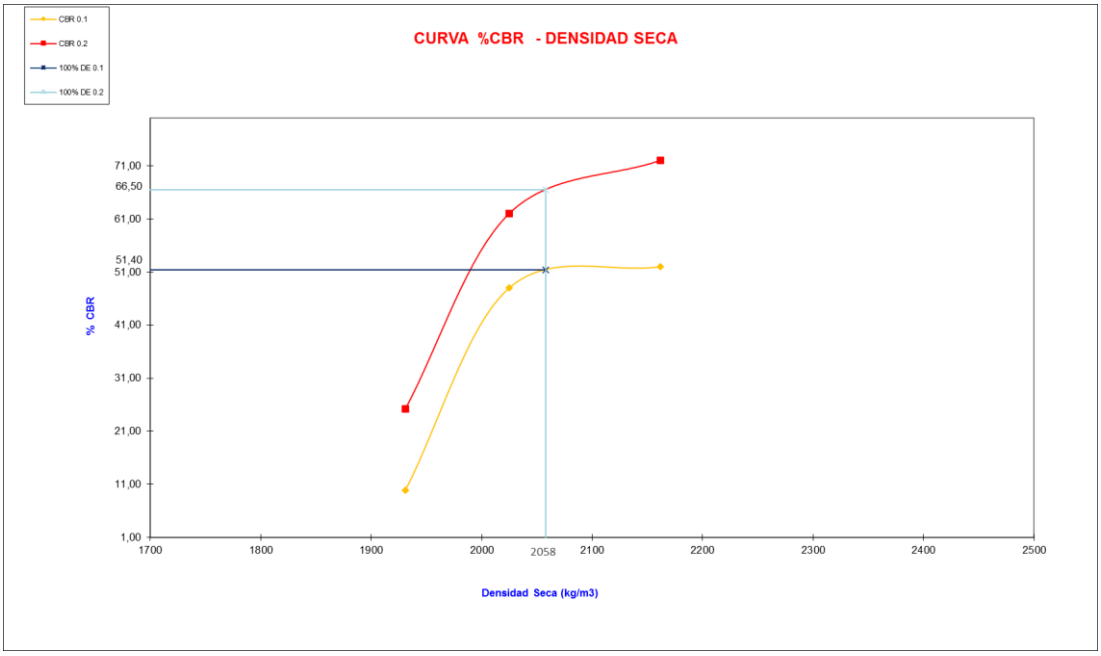
*Gráfica del esfuerzo vs. deformación -10 golpes-base clase 3 de la mina "Doña Meche"*




Así también, la Ilustración 3.28 grafica el % CBR vs. densidad seca-base clase 3 de la mina "Doña Meche".

**Ilustración 3-28**

*Gráfica del % CBR vs. densidad seca-base clase 3 de la mina "Doña Meche".*




La tabla 3.38, muestra los Valores de CBR obtenidos para base clase 3 de la mina "Doña Meche"

**Tabla 3-38**

*Valores de C.B.R. obtenidos para base clase 3 de la mina "Doña Meche"*

| VALORES DE CBR | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Nª de golpes | Presión(lb/plg2) | Valor CBR 0.1" | Presión(lb/plg2) | Valor CBR 0.2" |
| 56 | 520,00 | 52,00 | 1.080,00 | 72,00 |
| 25 | 480,00 | 48,00 | 930,00 | 62,00 |
| 10 | 98,33 | 9,83 | 378,67 | 25,24 |
| | % CBR (100% gd máx..) 0,1"= | **51,40** | % CBR (100% gd máx..) 0,2" = | **66,50** |

- CBR base clase 4

Por su parte, la Tabla 3.39 indica la compactación de ensayo C.B.R. para base clase 4 de la mina “Doña Meche”.

**Tabla 3-39**

*Tabla de compactación de ensayo CBR para base clase 4 de la mina “Doña Meche”*

| COMPACTACIÓN | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| MOLDE No.: | 11 | | 16 | | 26 | |
| Golpes/capa | 56 | | 25 | | 10 | |
| Peso comp.: | **11.100** | | **10.794** | | **10.533** | |
| Peso molde: | **6.189** | | **6.168** | | **6.178** | |
| Peso suelo: | 4.911 | | 4.626 | | 4.355 | |
| Volumen : | 2.138 | | 2.127 | | 2.106 | |
| Dens. Hum: | 2.297 | | 2.175 | | 2.068 | |
| CONTENIDOS DE HUMEDAD DE MOLDEO: | | | | | | |
| W. húmedo: | **67,58** | **76,17** | **68,44** | **67,43** | **76,51** | **83,22** |
| W. seco: | **65,59** | **73,51** | **66,78** | **64,68** | **73,99** | **79,85** |
| W. capsula: | **33,47** | **33,84** | **33,08** | **32,89** | **33,59** | **32,72** |
| w (%) : | 6,20 | 6,71 | 4,93 | 8,65 | 6,24 | 7,15 |
| w (%) prom.: | 6,45 | | 6,79 | | 6,69 | |
| Dens. Seca: | 2.158 | | 2.037 | | 1.938 | |
| CONTENIDOS DE HUMEDAD LUEGO DE LA SATURACIÓN: | | | | | | |
| W. húmedo: | **55,44** | **59,85** | **63,92** | **63,52** | **62,26** | **85,99** |
| W. seco : | **53,35** | **57,39** | **61,02** | **60,40** | **59,49** | **81,17** |
| W. capsula: | **33,08** | **32,37** | **33,24** | **33,08** | **32,22** | **33,95** |
| w (%) : | 10,31 | 9,83 | 10,44 | 11,42 | 10,16 | 10,21 |
| w(%) prom.: | 10,07 | | 10,93 | | 10,18 | |
| PORCENTAJE DE AGUA ABSORBIDA: | | | | | | |
| Peso satr.: | **11.201** | | **11.201** | | **11.058** | |
| Peso molde`base gr | **6.189** | | **6.168** | | **6.178** | |
| Agua abs. : | 101 | | 407 | | 525 | |
| % agua ab.: | 2,06 | | 8,80 | | 12,06 | |

De igual manera, la Tabla 3.40 muestra la expansión de ensayo CBR para base clase 4 de la mina “Doña Meche”

**Tabla 3-40**

*Expansión de ensayo CBR para base clase 4 de la mina “Doña Meche”*

| EXPANSIÓN | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| MOLDE No.: | | 11 | | | 16 | | | 26 | |
| Tiempo (días) | dial | pulgadas | % | dial | pulgadas | % | dial | pulgadas | % |
| 0 | 0 | 0,00 | 0,00 | 0 | 0,000 | 0,00 | 0 | 0,000 | 0,00 |
| 1 | 1 | 0,001 | 0,858 | **1** | 0,001 | 0,429 | 1 | 0,001 | 0,865 |
| 2 | 1 | 0,001 | 0,858 | **2** | 0,002 | 1,715 | 3 | 0,003 | 2,595 |
| 3 | 1 | 0,001 | 0,858 | **2** | 0,002 | 1,715 | 3 | 0,003 | 2,595 |
| 4 | 1 | 0,001 | 0,858 | **2** | 0,002 | 1,715 | 3 | 0,003 | 2,595 |
| 5 | 1 | 0,001 | 0,858 | **2** | 0,002 | 1,715 | 3 | 0,003 | 2,595 |

Por su parte, la Tabla 3.41, indica la penetración de ensayo CBR para base clase 4 de la mina “Doña Meche”

**Tabla 3-41**

*Tabla de penetración de ensayo CBR para base clase 4 de la mina “Doña Meche”*

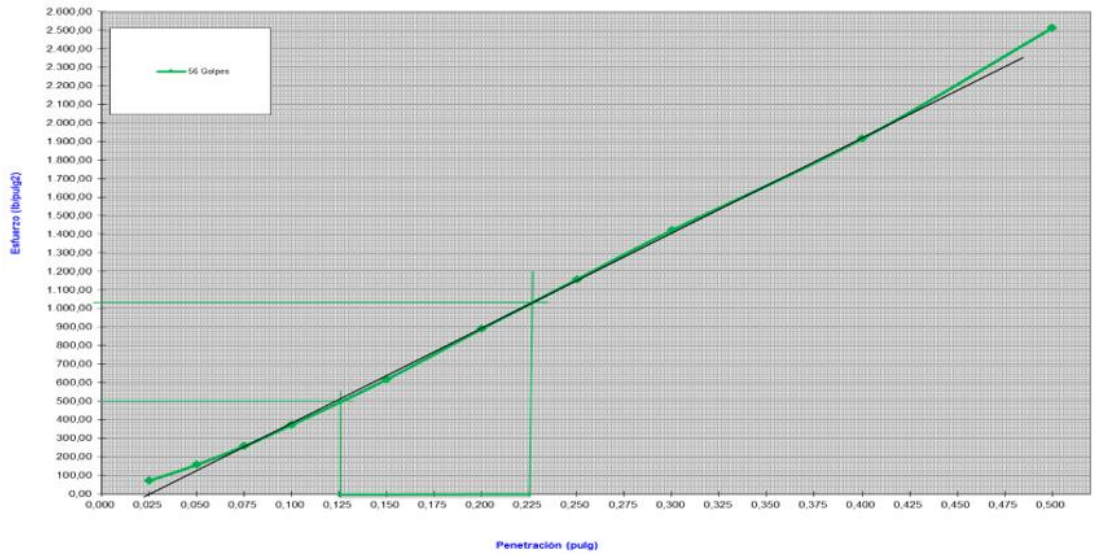
| PENETRACIÓN | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| MOLDE No.: | | 11 | | | 16 | | | 26 | |
| Nª de golpes | | 56 | | | 25 | | | 10 | |
| penetración (pulgadas) | dial | presión lb/plg2 | Esfuerzos corregidos | dial | presión lb/plg2 | Esfuerzos corregidos | dial | presión lb/plg2 | Esfuerzos corregidos |
| 0,000 | 0 | 0,00 | | 0 | 0,00 | | 0 | 0,00 | |
| 0,025 | 218 | 72,67 | | 10 | 3,33 | | 20 | 6,67 | |
| 0,050 | 475 | 158,33 | | 48 | 16,00 | | 59 | 19,67 | |

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0,075 | 777 | 259,00 | | 133 | 44,33 | | 114 | 38,00 | |
| 0,100 | 1123 | 374,33 | 495,00 | 292 | 97,33 | 450,00 | 204 | 68,00 | 68,00 |
| 0,150 | 1859 | 619,67 | | 788 | 262,67 | | 479 | 159,67 | |
| 0,200 | 2676 | 892,00 | 1.030,00 | 1539 | 513,00 | 980,00 | 892 | 297,33 | 297,33 |
| 0,250 | 3473 | 1.157,67 | | 2535 | 845,00 | | 1453 | 484,33 | |
| 0,300 | 4268 | 1.422,67 | | 3108 | 1.036,00 | | 2079 | 693,00 | |
| 0,400 | 5749 | 1.916,33 | | 5305 | 1.768,33 | | 3466 | 1.155,33 | |
| 0,500 | 7540 | 2.513,33 | | 7352 | 2.450,67 | | 5062 | 1.687,33 | |

Por otro lado, la Ilustración 3.29, grafica el esfuerzo vs deformación - 56 golpes - base clase 4 de la mina “Doña Meche”

**Ilustración 3-29**

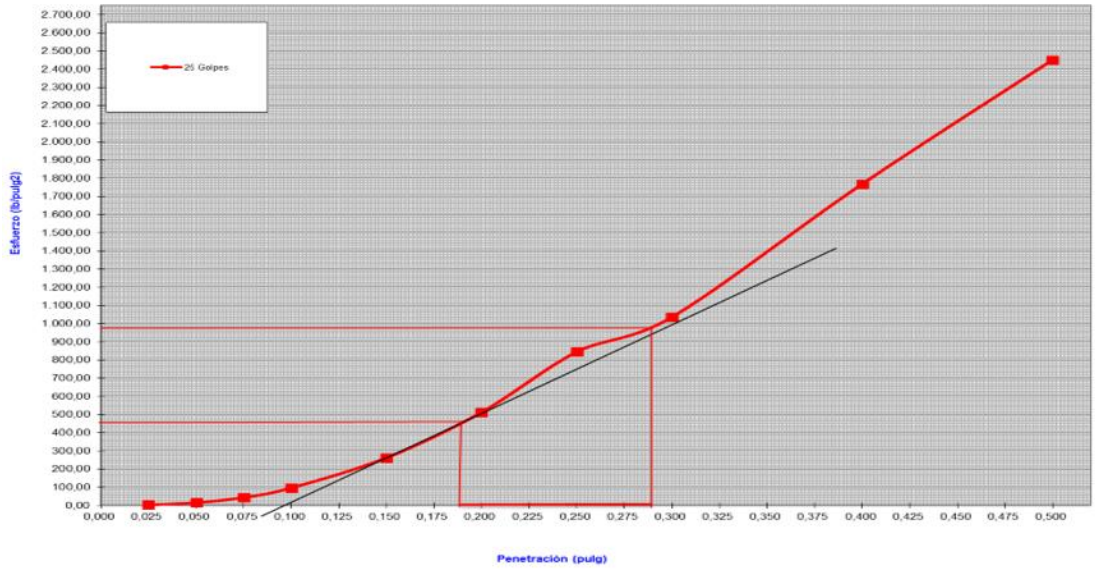
*Gráfica de esfuerzo vs deformación - 56 golpes - base clase 4 de la mina “Doña Meche”*




La Ilustración 3.30, enseña la gráfica de esfuerzo vs deformación - 25 golpes - base clase 4 de la mina “Doña Meche”.

**Ilustración 3-30**

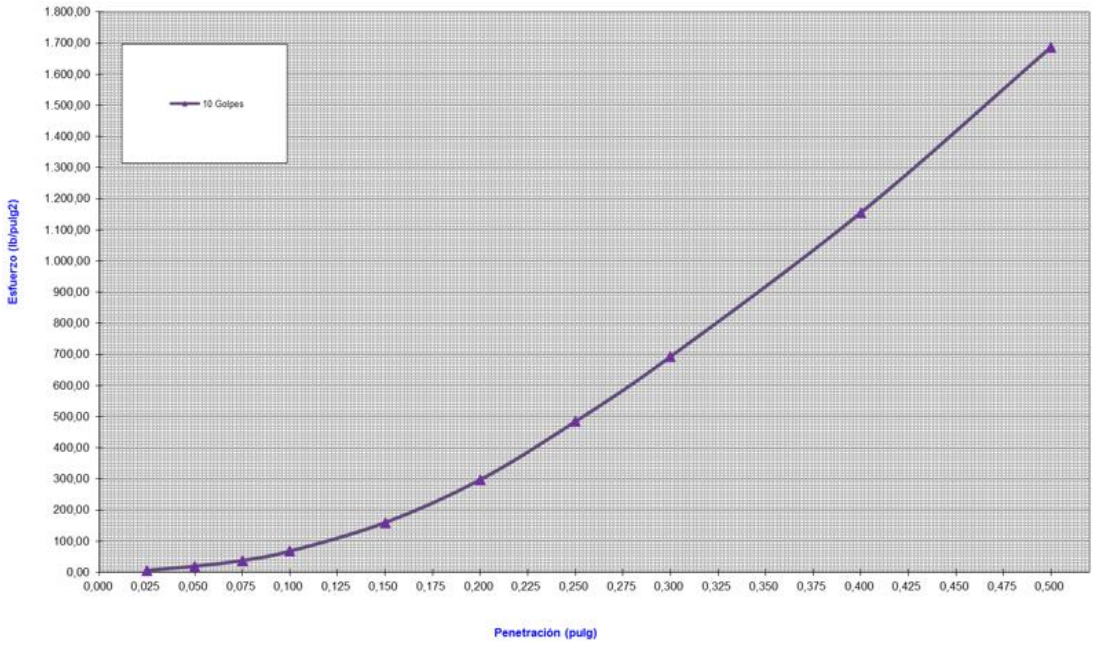
*Gráfica de esfuerzo vs deformación - 25 golpes - base clase 4 de la mina "Doña Meche"*




A su vez, la Ilustración 3.31, muestra la gráfica de esfuerzo vs deformación - 10 golpes - base clase 4 de la mina "Doña Meche"

**Ilustración 3-31**

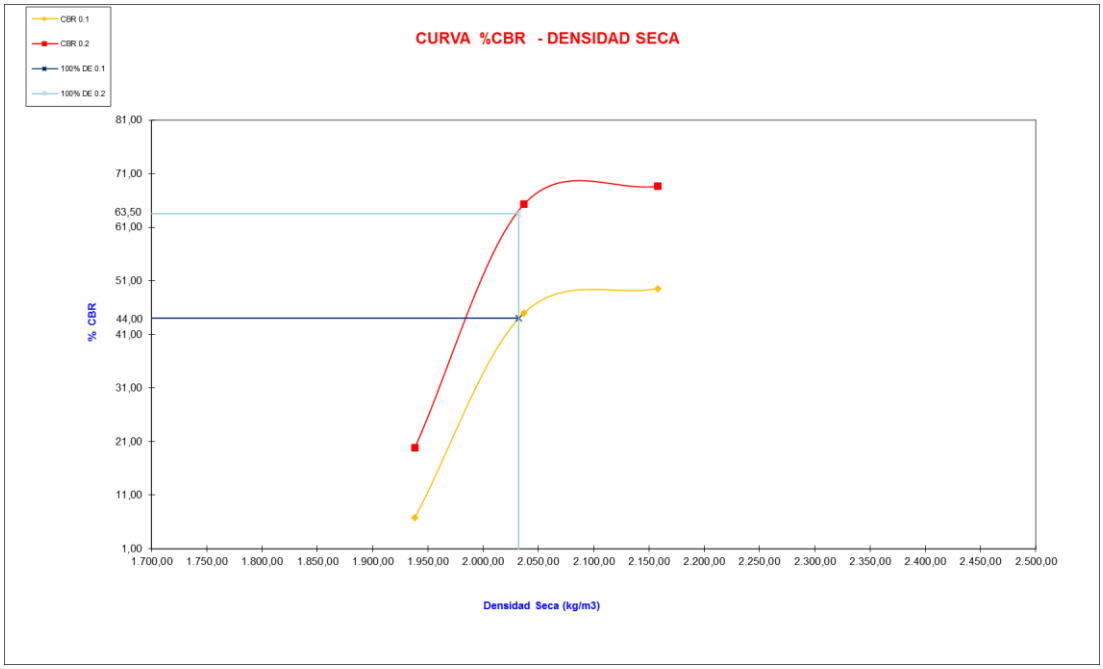
*Gráfica de esfuerzo vs deformación - 10 golpes - base clase 4 de la mina "Doña Meche"*




Así también la Ilustración 3.32, enseña la gráfica % CBR vs densidad seca - base clase 4 de la mina "Doña Meche"

**Ilustración 3-32**

*Gráfica % CBR vs densidad seca - base clase 4 de la mina "Doña Meche"*




En cambio, la Tabla 3.42, muestra los valores de CBR obtenidos para base clase 4 de la mina "Doña Meche"

**Tabla 3-42**

*Valores de CBR obtenidos para base clase 4 de la mina "Doña Meche"*

| VALORES DE CBR | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Nª de golpes | Presión(lb/plg2) | Valor CBR 0.1" | Presión(lb/plg2) | Valor CBR 0.2" |
| 56 | 495,00 | 49,50 | 1.030,00 | 68,67 |
| 25 | 450,00 | 45,00 | 980,00 | 58,67 |
| 10 | 68,00 | 6,80 | 297,33 | 19,82 |
| | % CBR (100% gd máx..) 0,1"= | **44,00** | % CBR (100% gd máx..) 0,2" = | **63,50** |

- CBR. subbase clase 1

A continuación, la Tabla 3.43, muestra la compactación de ensayo CBR para subbase clase 1 de la mina “Doña Meche”.

**Tabla 3-43**

*Tabla de compactación de ensayo CBR para subbase clase 1 de la mina “Doña Meche”*

| COMPACTACIÓN | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| MOLDE No.: | 22 | | 26 | | 17 | |
| Golpes/capa | 56 | | 25 | | 10 | |
| Peso comp.: | **11.210** | | **10.991** | | **10.731** | |
| Peso molde: | **6.261** | | **6.178** | | **6.184** | |
| Peso suelo: | 4.949 | | 4.813 | | 4.547 | |
| Volumen : | **2.127** | | **2.106** | | **2.118** | |
| Dens. Hum: | 2.327 | | 2.285 | | 2.147 | |
| CONTENIDOS DE HUMEDAD DE MOLDEO: | | | | | | |
| W. húmedo: | **88,51** | **91,85** | **98,98** | **83,04** | **73,50** | **87,44** |
| W. seco: | **84,46** | **87,45** | **94,03** | **79,13** | **70,68** | **83,37** |
| W. capsula: | **33,24** | **33,08** | **31,88** | **32,18** | **33,24** | **32,58** |
| w (%) : | 7,91 | 8,09 | 7,96 | 8,33 | 7,53 | 8,01 |
| w (%) prom.: | 8,00 | | 8,15 | | 7,77 | |
| Dens. Seca: | 2.154 | | 2.113 | | 1.992 | |
| CONTENIDOS DE HUMEDAD LUEGO DE LA SATURACIÓN: | | | | | | |
| W. húmedo: | **204,30** | **165,44** | **180,33** | **166,46** | **169,77** | **215,44** |
| W. seco : | **193,02** | **155,71** | **170,24** | **155,92** | **156,54** | **200,08** |
| W. capsula: | **48,66** | **32,63** | **49,65** | **31,84** | **33,30** | **48,12** |
| w (%) : | 7,81 | 7,91 | 8,37 | 8,49 | 10,74 | 10,11 |
| w(%) prom.: | 7,86 | | 8,43 | | 10,42 | |
| PORCENTAJE DE AGUA ABSORBIDA: | | | | | | |
| Peso satr.: | **11.750** | | **11.377** | | **11.263** | |
| Peso molde`base gr | **6.261** | | **6.178** | | **6.184** | |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Agua abs. : | 540 | 386 | 532 |
| % agua ab.: | 10,91 | 8,02 | 11,70 |

Además, la Tabla 3.44, indica la expansión de ensayo CBR para subbase clase 1de la mina "Doña Meche"

**Tabla 3-44**

*Tabla de expansión de ensayo CBR para subbase clase 1de la mina "Doña Meche"*

| EXPANSIÓN | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| MOLDE No.: | 22 | | | 26 | | | 17 | | |
| Tiempo (días) | dial | pulgadas | % | dial | pulgadas | % | dial | pulgadas | % |
| 0 | 0 | 0,00 | 0,00 | 0 | 0,000 | 0,00 | 0 | 0,000 | 0,00 |
| 1 | 3 | 0,003 | 2,584 | 2 | 0,002 | 1,723 | 2 | 0,002 | 1,723 |
| 2 | 4 | 0,004 | 3,015 | 2 | 0,002 | 1,723 | 2 | 0,002 | 1,723 |
| 3 | 4 | 0,004 | 3,445 | 2 | 0,002 | 1,723 | 2 | 0,002 | 1,723 |
| 4 | 4 | 0,004 | 3,445 | 2 | 0,002 | 1,723 | 2 | 0,002 | 1,723 |
| 5 | 4 | 0,004 | 3,445 | 2 | 0,002 | 1,723 | 2 | 0,002 | 1,723 |

Por otra parte, la Tabla 3.45, muestra la penetración de ensayo CBR para subbase clase 1 de la mina "Doña Meche"

**Tabla3-45**

**Tabla de penetración de ensayo CBR para subbase clase 1 de la mina "Doña Meche"**

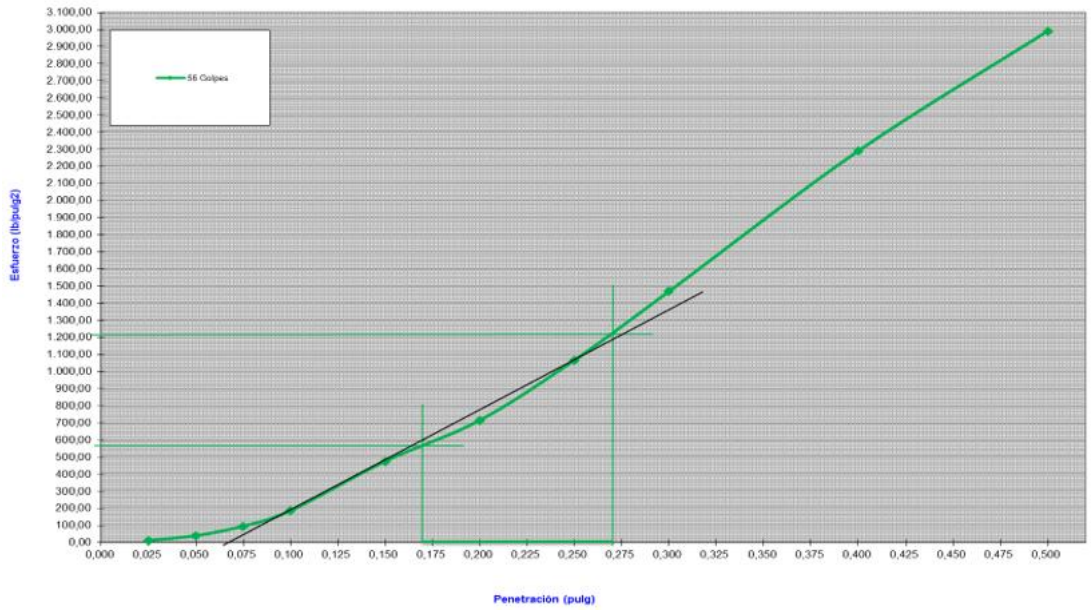
| PENETRACIÓN | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| MOLDE No.: | | 22 | | | 26 | | | 17 | |
| Nª de golpes | | 56 | | | 25 | | | 10 | |
| penetración (pulgadas) | dial | presión lb/plg2 | Esfuerzos corregidos | dial | presión lb/plg2 | Esfuerzos corregidos | dial | presión lb/plg2 | Esfuerzos corregidos |

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0,000 | 0 | 0,00 | | 0 | 0,00 | | 0 | 0,00 | |
| 0,025 | 35 | 11,67 | | 230 | 76,67 | | 130 | 43,33 | |
| 0,050 | 119 | 39,67 | | 729 | 243,00 | | 410 | 136,67 | |
| 0,075 | 284 | 94,67 | | 1188 | 396,00 | | 698 | 232,67 | |
| 0,100 | 555 | 185,00 | 570,00 | 1677 | 559,00 | 600,00 | 972 | 324,00 | 390,00 |
| 0,150 | 1421 | 473,67 | | 2634 | 878,00 | | 1430 | 476,67 | |
| 0,200 | 2140 | 713,33 | 1.210,00 | 3295 | 1.098,33 | 1.120,00 | 1838 | 612,67 | 670,00 |
| 0,250 | 3196 | 1.065,33 | | 4001 | 1.333,67 | | 2227 | 742,33 | |
| 0,300 | 4404 | 1.468,00 | | 4490 | 1.496,67 | | 2454 | 818,00 | |
| 0,400 | 6869 | 2.289,67 | | 5273 | 1.757,67 | | 2911 | 970,33 | |
| 0,500 | 8974 | 2.991,22 | | 6072 | 2.023,89 | | 3357 | 1.119,11 | |

Por otro lado, la Ilustración 3.33, muestra el esfuerzo vs deformación - 56 golpes - subbase clase 1 de la mina “Doña Meche”

**Ilustración 3-33**

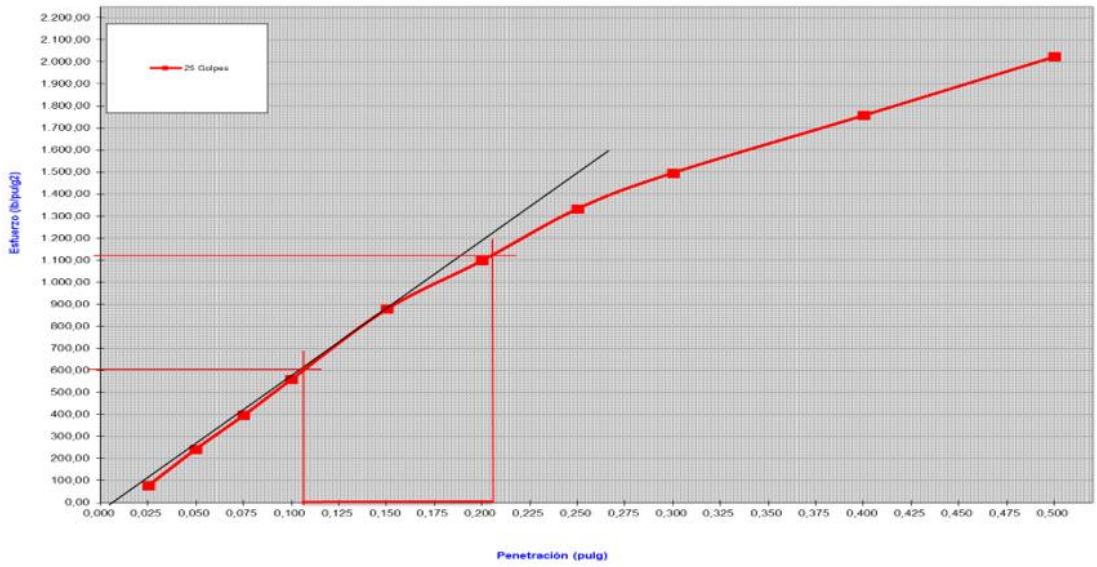
*Gráfica de esfuerzo vs deformación - 56 golpes - subbase clase 1 de la mina “Doña Meche”*



En cambio, la Ilustración 3.34, muestra la gráfica de esfuerzo vs deformación - 25 golpes - subbase clase 1 de la mina “Doña Meche”

**Ilustración 3-34**

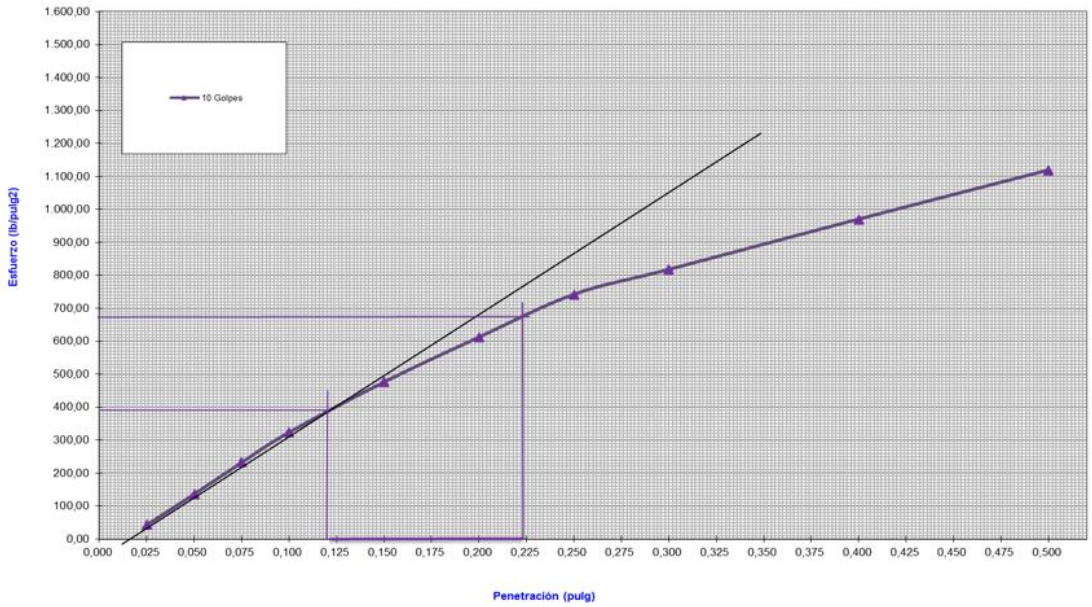
*Gráfica de esfuerzo vs deformación - 25 golpes - subbase clase 1 de la mina “Doña Meche”*




Así mismo en la Ilustración 3.35 se puede observar la gráfica de esfuerzo vs deformación - 10 golpes - subbase clase 1 de la mina “Doña Meche”.

**Ilustración 3-35**

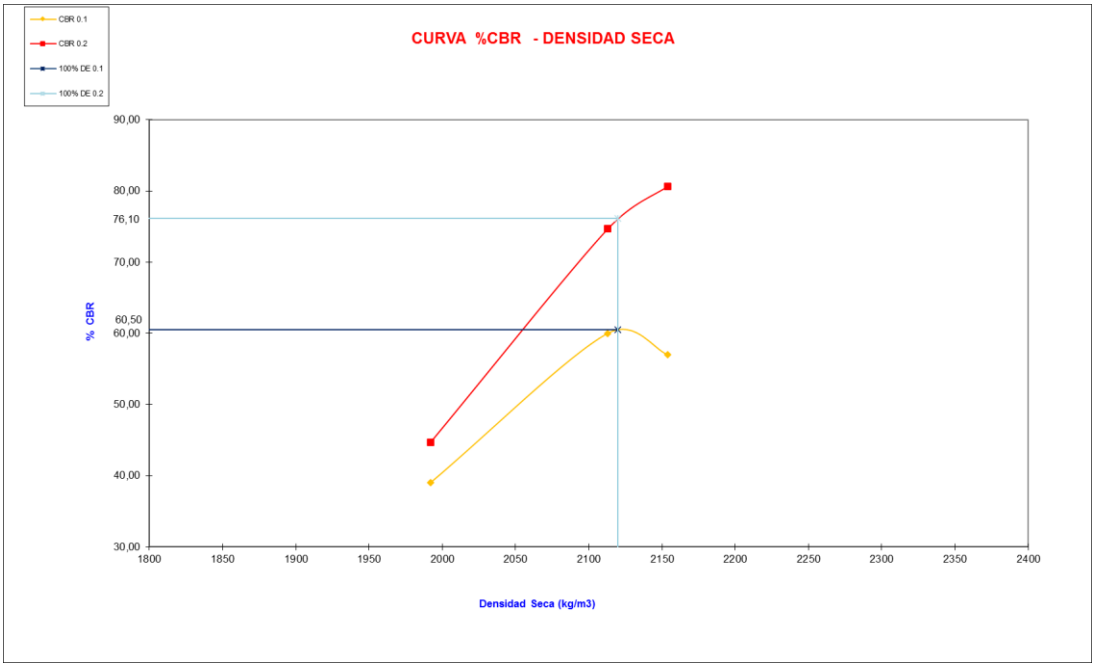
*Gráfica de esfuerzo vs deformación - 10 golpes - subbase clase 1 de la mina "Doña Meche"*




Por su parte, la Ilustración 3.36, enseña la gráfica de porcentaje de CBR vs densidad seca - subbase clase 1

**Ilustración 3-36**

*Gráfica de % CBR vs densidad seca - subbase clase 1 de la mina "Doña Meche"*




A continuación, la Tabla 3.46, refleja los valores de CBR obtenidos para subbase clase 1 de la mina "Doña Meche"

**Tabla 3-46**

*Valores de CBR obtenidos para subbase clase 1 de la mina "Doña Meche"*

| VALORES DE CBR | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Nª de golpes | Presión(lb/plg2) | Valor CBR 0.1" | Presión(lb/plg2) | Valor CBR 0.2" |
| 56 | 570,00 | 57,00 | 1.210,00 | 80,67 |
| 25 | 600,00 | 60,00 | 1.120,00 | 74,67 |
| 10 | 390,00 | 39,00 | 670,00 | 44,67 |
| | % CBR (100% gd máx..) 0,1"= | **60,50** | % CBR (100% gd máx..) 0,2" = | **76,10** |

- CBR subbase clase 2

Por su parte, la Tabla 3.47, muestra los datos de la compactación de ensayo CBR para subbase clase 2 de la mina "Doña Meche"

**Tabla 3-47**

*Tabla de compactación de ensayo CBR para subbase clase 2 de la mina "Doña Meche"*

| COMPACTACIÓN | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| MOLDE No.: | 17 | | 5 | | 26 | |
| Golpes/capa | 56 | | 25 | | 10 | |
| Peso comp.: | **11.057** | | **10.945** | | **10.623** | |
| Peso molde: | **6.184** | | **6.246** | | **6.249** | |
| Peso suelo: | 4.873 | | 4.699 | | 4.374 | |
| Volumen : | 2.118 | | 2.116 | | 2.106 | |
| Dens. Hum: | 2.301 | | 2.221 | | 2.077 | |
| CONTENIDOS DE HUMEDAD DE MOLDEO: | | | | | | |
| W. húmedo: | **115,56** | **117,05** | **151,27** | **178,26** | **120,95** | **126,75** |
| W. seco: | **109,75** | **111,41** | **142,89** | **167,75** | **114,26** | **119,95** |
| W. capsula: | **32,08** | **33,08** | **32,22** | **33,47** | **32,45** | **32,58** |
| w (%) : | 7,48 | 7,20 | 7,57 | 7,83 | 8,18 | 7,78 |
| w (%) prom.: | 7,34 | | 7,70 | | 7,98 | |
| Dens. Seca: | 2.144 | | 2.062 | | 1.923 | |
| CONTENIDOS DE HUMEDAD LUEGO DE LA SATURACIÓN: | | | | | | |
| W. húmedo: | **109,84** | **90,87** | **96,54** | **99,71** | **119,26** | **112,07** |
| W. seco : | **103,27** | **85,97** | **90,77** | **93,22** | **110,43** | **103,82** |
| W. capsula: | **33,14** | **32,08** | **32,45** | **33,19** | **33,08** | **31,71** |
| w (%) : | 9,37 | 9,09 | 9,89 | 10,81 | 11,42 | 11,44 |
| w(%) prom.: | 9,23 | | 10,35 | | 11,43 | |
| PORCENTAJE DE AGUA ABSORBIDA: | | | | | | |
| Peso satr.: | **11.557** | | **11.473** | | **11.370** | |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Peso molde`base gr | **6.184** | **6.246** | **6.249** |
| Agua abs. : | 500 | 528 | 747 |
| % agua ab.: | 10,26 | 11,24 | 17,08 |

La Tabla 3.48, muestra la expansión de ensayo CBR para subbase clase 2de la mina "Doña Meche"

**Tabla 3-48**

*Tabla de expansión de ensayo CBR para subbase clase 2de la mina "Doña Meche"*

| EXPANSIÓN | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| MOLDE No.: | 17 | | | 5 | | | 26 | | |
| Tiempo (días) | dial | pulgadas | % | dial | pulgadas | % | dial | pulgadas | % |
| 0 | 0 | 0,00 | 0,00 | 0 | 0,000 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0,00 |
| 1 | 1 | 0,001 | 0,022 | 1 | 0,001 | 0,022 | 1 | 0,001 | 0,022 |
| 2 | 2 | 0,002 | 0,033 | 2 | 0,002 | 0,033 | 2 | 0,002 | 0,044 |
| 3 | 2 | 0,002 | 0,033 | 2 | 0,002 | 0,033 | 2 | 0,002 | 0,044 |
| 4 | 2 | 0,002 | 0,033 | 2 | 0,002 | 0,033 | 2 | 0,002 | 0,044 |
| 5 | 2 | 0,002 | 0,033 | 2 | 0,002 | 0,033 | 2 | 0,002 | 0,044 |

Así mismo, la Tabla 3.49 detalla la penetración de ensayo CBR para subbase clase 2 de la mina "Doña Meche"

**Tabla 3-49**

*Tabla de penetración de ensayo CBR para subbase clase 2 de la mina "Doña Meche"*

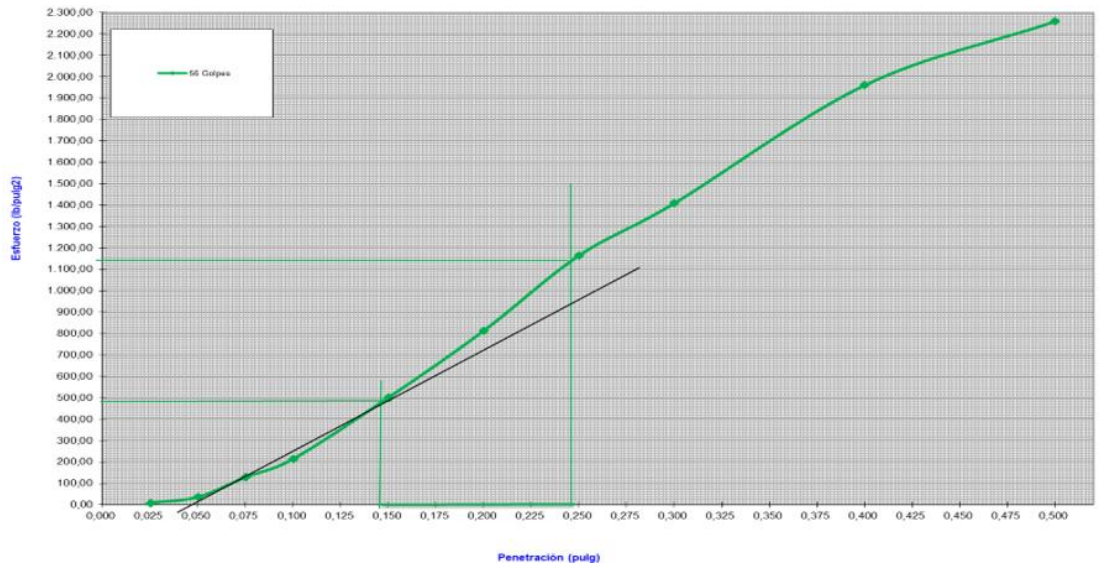
| PENETRACIÓN | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| MOLDE No.: | | 17 | | | 5 | | | 26 | |
| Nª de golpes | | 56 | | | 25 | | | 10 | |
| penetración (pulgadas) | dial | presión lb/plg2 | Esfuerzos corregidos | dial | presión lb/plg2 | Esfuerzos corregidos | dial | presión lb/plg2 | Esfuerzos corregidos |
| 0,000 | 0 | 0,00 | | 0 | 0,00 | | 0 | 0,00 | |

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0,025 | 26 | 8,67 | | 26 | 8,67 | | 70 | 23,33 | |
| 0,050 | 108 | 36,00 | | 158 | 52,67 | | 212 | 70,67 | |
| 0,075 | 386 | 128,67 | | 451 | 150,33 | | 404 | 134,67 | |
| 0,100 | 642 | 214,00 | 480,00 | 735 | 245,00 | 430,00 | 596 | 198,67 | 340,00 |
| 0,150 | 1503 | 501,00 | | 1418 | 472,67 | | 1320 | 440,00 | |
| 0,200 | 2438 | 812,67 | 1.140,00 | 2309 | 769,67 | 1.090,00 | 2082 | 694,00 | 850,00 |
| 0,250 | 3493 | 1.164,33 | | 3450 | 1.150,00 | | 2830 | 943,33 | |
| 0,300 | 4225 | 1.408,37 | | 4538 | 1.512,67 | | 3662 | 1.220,67 | |
| 0,400 | 5881 | 1.960,47 | | 6044 | 2.014,67 | | 5093 | 1.697,67 | |
| 0,500 | 6776 | 2.258,67 | | 7173 | 2.391,00 | | 6017 | 2.005,67 | |

Además, la Ilustración 3.37, indica el gráfico de esfuerzo vs deformación - 56 golpes - subbase clase 2 de la mina Doña.

**Ilustración 3-37**

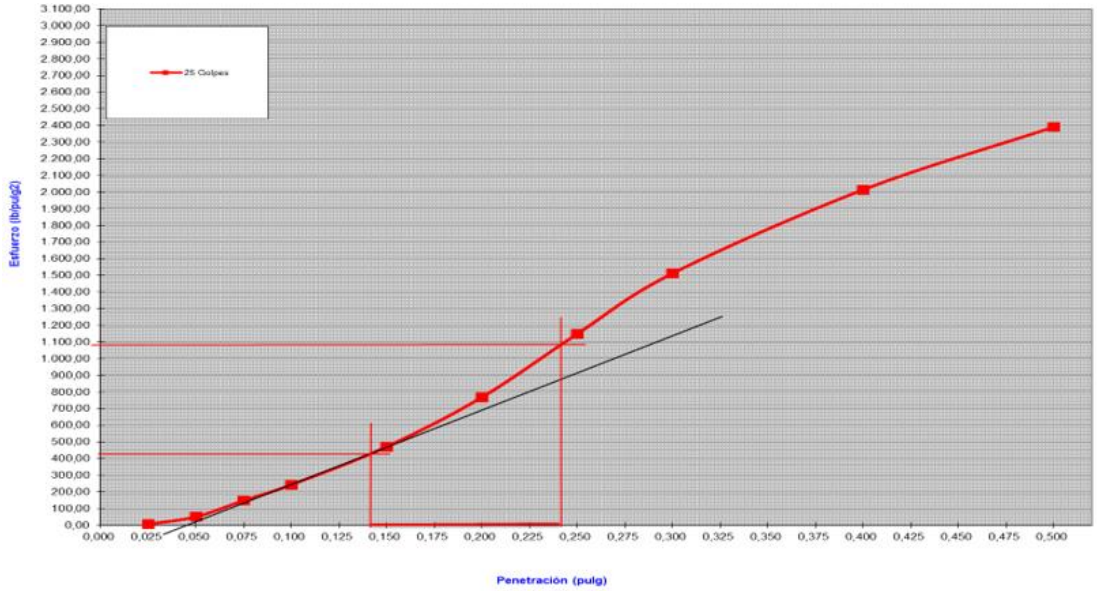
*Gráfica esfuerzo vs deformación - 56 golpes - subbase clase 2 de la mina "Doña Meche"*




Así también, la Ilustración 3.38, muestra la Gráfica de esfuerzo vs deformación - 25 golpes - subbase clase 2 de la mina "Doña Meche"

**Ilustración 3-38**

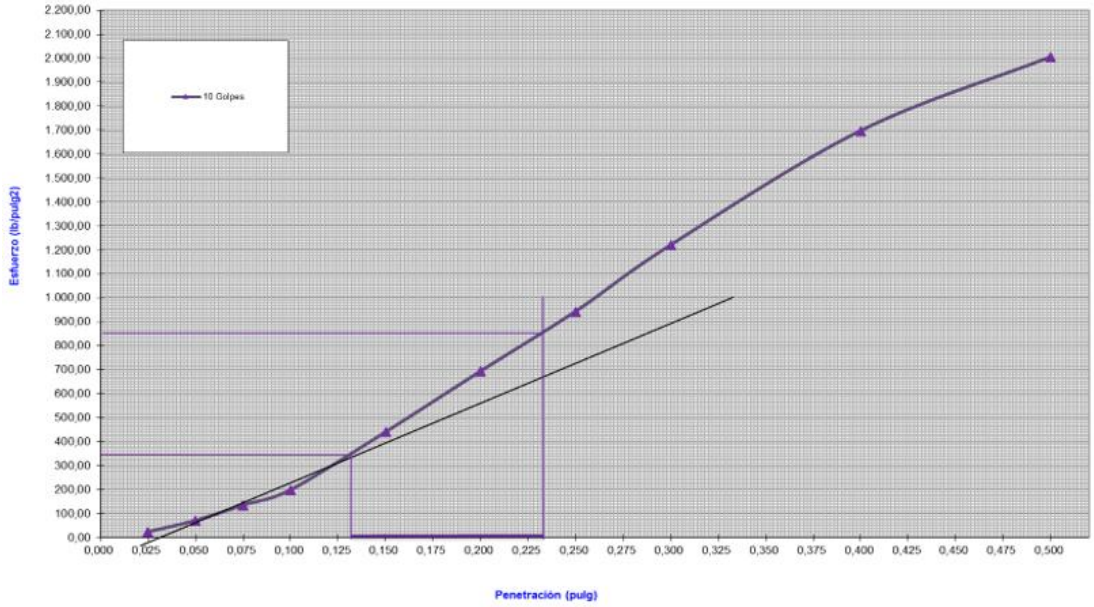
*Gráfica de esfuerzo vs deformación - 25 golpes - subbase clase 2 de la mina "Doña Meche"*




La gráfica de esfuerzo vs deformación - 10 golpes - subbase clase 2 de la mina "Doña Meche", se la puede encontrar en la Ilustración 3.39.

**Ilustración 3-39**

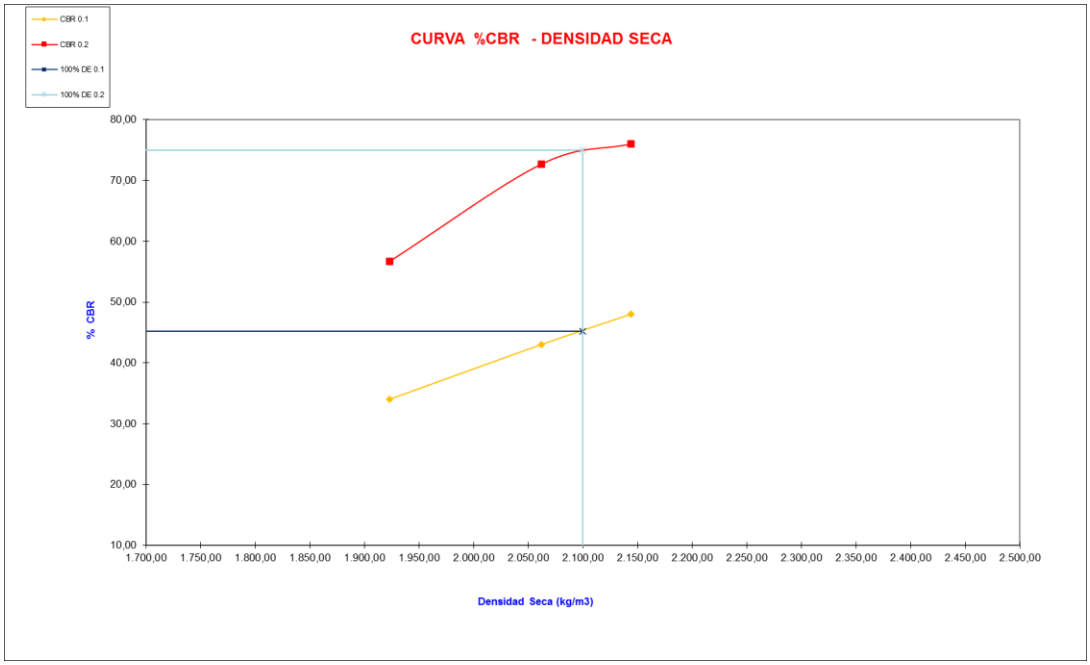
*Gráfica de esfuerzo vs deformación - 10 golpes - subbase clase 2 de la mina "Doña Meche"*




En la Ilustración 3.40, se puede apreciar la gráfica de porcentaje de CBR vs densidad seca - subbase clase 2 de la mina "Doña Meche".

**Ilustración 3-40**

*Gráfica % de CBR vs densidad seca - subbase clase 2 de la mina "Doña Meche"*




Los valores de CBR obtenidos para subbase clase 2 de la mina "Doña Meche", se los observa en la Tabla 3.50.

**Tabla 3-50**

*Valores de CBR obtenidos para subbase clase 2 de la mina "Doña Meche"*

| VALORES DE CBR | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Nª de golpes | Presión(lb/plg2) | Valor CBR 0.1" | Presión(lb/plg2) | Valor CBR 0.2" |
| 56 | 480,00 | 48,00 | 1.140,00 | 76,00 |
| 25 | 430,00 | 43,00 | 1.090,00 | 72,67 |
| 10 | 340,00 | 34,00 | 850,00 | 56,67 |
| | % CBR (100% gd máx..) 0,1"= | **45,20** | % CBR (100% gd máx..) 0,2" = | **75,00** |

- CBR subbase clase 3

La compactación de ensayo CBR para subbase clase 3 de la mina "Doña Meche", se indica en la Tabla 3.51.

**Tabla 3-51**

*Tabla de compactación de ensayo CBR para subbase clase 3 de la mina "Doña Meche"*

| COMPACTACIÓN | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| MOLDE No.: | 4 | | 22 | | 16 | |
| Golpes/capa | 56 | | 25 | | 10 | |
| Peso comp.: | **11.554** | | **11.397** | | **11.174** | |
| Peso molde: | **6.237** | | **6.261** | | **6.165** | |
| Peso suelo: | 5.317 | | 5.136 | | 5.009 | |
| Volumen : | 2.118 | | 2.127 | | 2.127 | |
| Dens. Hum: | 2.511 | | 2.415 | | 2.355 | |
| CONTENIDOS DE HUMEDAD DE MOLDEO: | | | | | | |
| W. húmedo: | **106,14** | **130,45** | **154,17** | **174,30** | **129,74** | **139,96** |
| W. seco: | **100,34** | **122,78** | **144,97** | **163,22** | **122,43** | **131,85** |
| W. capsula: | **32,08** | **32,22** | **33,08** | **33,47** | **32,58** | **32,45** |
| w (%) : | 8,50 | 8,47 | 8,22 | 8,54 | 8,14 | 8,16 |
| w (%) prom.: | 8,48 | | 8,38 | | 8,15 | |
| Dens. Seca: | 2.314 | | 2.228 | | 2.178 | |
| CONTENIDOS DE HUMEDAD LUEGO DE LA SATURACION: | | | | | | |
| W. húmedo: | **82,01** | **90,35** | **101,67** | **87,20** | **95,09** | **108,84** |
| W. seco : | **77,03** | **84,67** | **94,45** | **81,85** | **89,12** | **99,85** |
| W. capsula: | **32,45** | **32,08** | **33,08** | **31,71** | **33,19** | **33,14** |
| w (%) : | 11,17 | 10,80 | 11,76 | 10,67 | 10,67 | 13,48 |
| w(%) prom.: | 10,99 | | 11,22 | | 12,08 | |
| PORCENTAJE DE AGUA ABSORBIDA: | | | | | | |
| Peso satr.: | **11.596** | | **11.455** | | **11.318** | |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Peso molde`base gr | **6.237** | **6.261** | **6.165** |
| Agua abs. : | 42 | 58 | 144 |
| % agua ab.: | 0,79 | 1,13 | 2,87 |

Los datos sobre la expansión de ensayo CBR para subbase clase 3 de la mina "Doña Meche" se los puede observar en la Tabla 3.52.

**Tabla 3-52**

*Tabla de expansión de ensayo CBR para subbase clase 3 de la mina "Doña Meche"*

| EXPANSIÓN | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| MOLDE No.: | 4 | | | 22 | | | 16 | | |
| Tiempo (días) | dial | pulgadas | % | dial | pulgadas | % | dial | pulgadas | % |
| 0 | 0 | 0,00 | 0,00 | 0 | 0,000 | 0,00 | 0 | 0,000 | 0,00 |
| 1 | 2 | 0,002 | 1,292 | 4 | 0,004 | 3,431 | 5 | 0,005 | 4,288 |
| 2 | 3 | 0,003 | 2,584 | 5 | 0,005 | 4,288 | 6 | 0,006 | 5,146 |
| 3 | 3 | 0,003 | 2,584 | 5 | 0,005 | 4,288 | 8 | 0,008 | 6,861 |
| 4 | 3 | 0,003 | 2,584 | 5 | 0,005 | 4,288 | 8 | 0,008 | 6,861 |
| 5 | 3 | 0,003 | 2,584 | 5 | 0,005 | 4,288 | 8 | 0,008 | 6,861 |

La información sobre la penetración de ensayo CBR para subbase clase 3 de la mina "Doña Meche", está expuesta en la Tabla 3.53.

**Tabla 3-53**

*Tabla de penetración de ensayo CBR para subbase clase 3 de la mina "Doña Meche"*

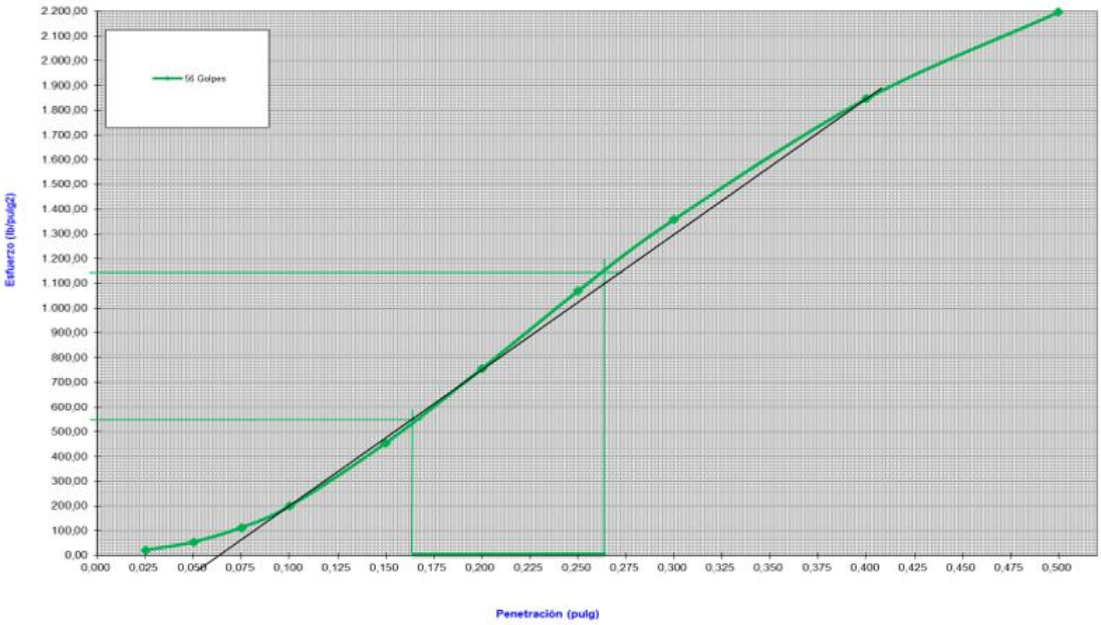
| PENETRACIÓN | | | |
|---|---|---|---|
| MOLDE No.: | 4 | 22 | 16 |
| Nª de golpes | 56 | 25 | 10 |

| penetración (pulgadas) | dial | presión lb/plg2 | Esfuerzos corregidos | dial | presión lb/plg2 | Esfuerzos corregidos | dial | presión lb/plg2 | Esfuerzo corregido |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0,000 | 0 | 0,00 | | 0 | 0,00 | | 0 | 0,00 | |
| 0,025 | 63 | 21,00 | | 18 | 6,00 | | 135 | 45,00 | |
| 0,050 | 163 | 54,33 | | 95 | 31,67 | | 407 | 135,67 | |
| 0,075 | 339 | 113,00 | | 366 | 122,00 | | 750 | 250,00 | |
| 0,100 | 598 | 199,33 | 545,00 | 780 | 260,00 | 520,00 | 1105 | 368,33 | 450,00 |
| 0,150 | 1364 | 454,67 | | 1536 | 512,00 | | 1622 | 540,67 | |
| 0,200 | 2266 | 755,33 | 1.140,00 | 2274 | 758,00 | 940,00 | 1975 | 658,33 | 720,00 |
| 0,250 | 3208 | 1.069,33 | | 2881 | 960,33 | | 2276 | 758,67 | |
| 0,300 | 4076 | 1.358,67 | | 3406 | 1.135,33 | | 2520 | 840,00 | |
| 0,400 | 5540 | 1.846,67 | | 4253 | 1.417,67 | | 2908 | 969,33 | |
| 0,500 | 6592 | 2.197,33 | | 4889 | 1.629,67 | | 3191 | 1.063,67 | |

Por su parte, la Ilustración 3.41, grafica el esfuerzo vs deformación - 56 golpes – subbase clase 3 de la mina “Doña Meche”.

**Ilustración 3-41**

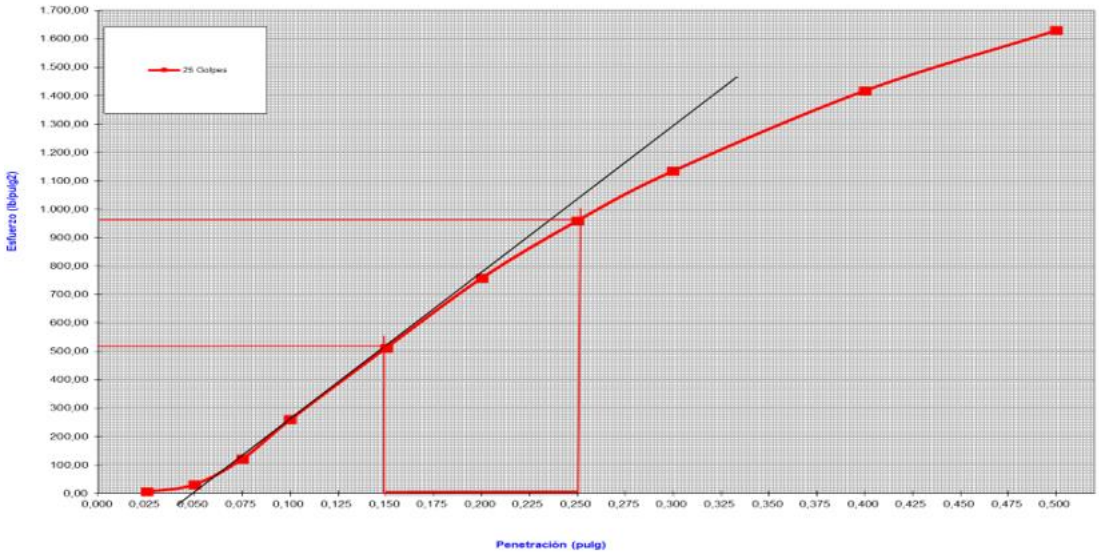
*Gráfica esfuerzo vs deformación - 56 golpes – subbase clase 3 de la mina "Doña Meche"*




Así mismo, la gráfica de esfuerzo vs deformación - 25 golpes - subbase clase 3 de la mina Doña, se observa en la Ilustración 3.42.

**Ilustración 3-42**

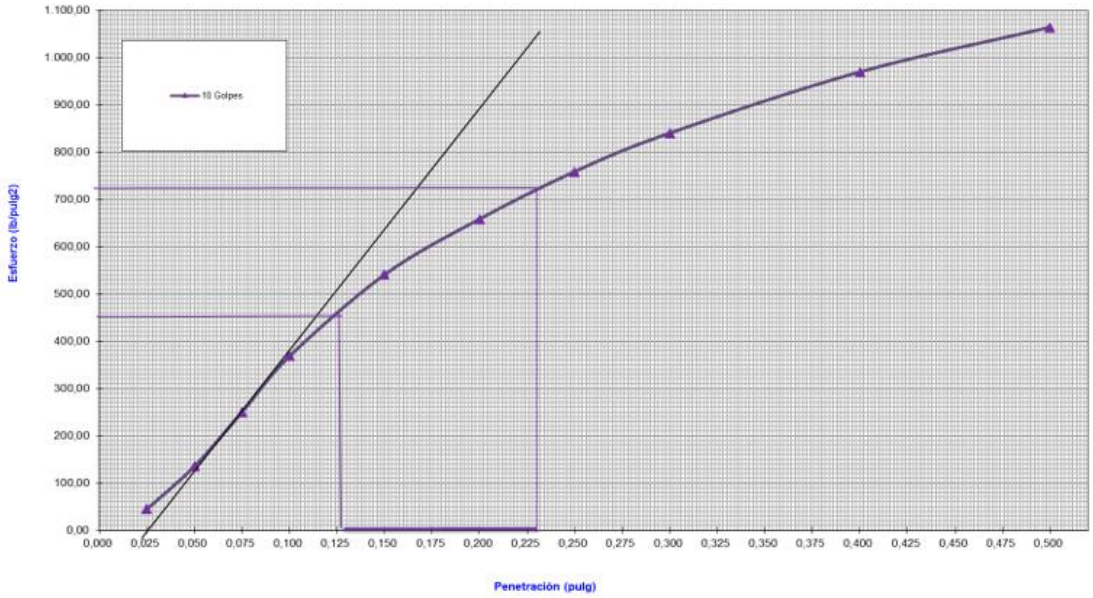
*Gráfica de esfuerzo vs deformación - 25 golpes - subbase clase 3 de la mina "Doña Meche"*




La ilustración 3.43, expone la gráfica de esfuerzo vs deformación - 10 golpes - subbase clase 2 de la mina "Doña Meche"

**Ilustración 3-43**

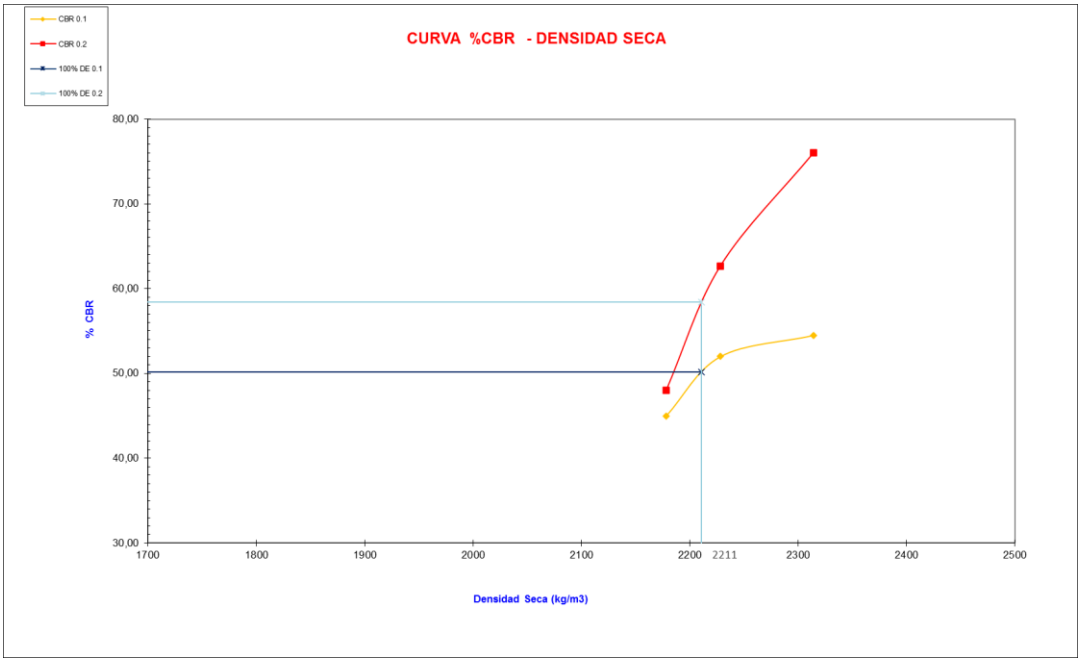
*Gráfica de esfuerzo vs deformación - 10 golpes - subbase clase 2 de la mina "Doña Meche"*




Por otro lado, la Ilustración 3.44, grafica el porcentaje de CBR vs densidad seca - subbase clase 3 de la mina "Doña Meche".

**Ilustración 3-44**

*Grafica % de CBR vs densidad seca - subbase clase 3 de la mina "Doña Meche"*




Los valores de CBR obtenidos para subbase clase 3 de la mina "Doña Meche", se muestran en la Tabla 3.54.

**Tabla 3-54**

*Valores de CBR obtenidos para subbase clase 3 de la mina "Doña Meche"*

| VALORES DE CBR | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Nª de golpes | Presión(lb/plg2) | Valor CBR 0.1" | Presión(lb/plg2) | Valor CBR 0.2" |
| 56 | 545,00 | 54,50 | 1.140,00 | 76,00 |
| 25 | 520,00 | 52,00 | 940,00 | 62,67 |
| 10 | 450,00 | 45,00 | 720,00 | 48,00 |
| | % CBR (100% gd máx..) 0,1"= | 50,20 | % CBR (100% gd máx..) 0,2" = | 58,40 |

## 3.9 Módulo de Young

Los resultados de ensayo Geogauge y obtención del módulo resiliente de la mina "Doña Meche", se muestran en la Tabla 3.55.

**Tabla 3-55**

*Resultados de ensayo Geogauge y obtención del módulo resiliente de la mina "Doña Meche"*

| Descripción | DS Máx. (Campo) (Densímetro Nuclear) (Kg/m3) | DS Máx. (lab.) (Densímetro Nuclear) (Kg/m3) prom. | Porcentaje de comp. (%) | Módulo de young (Mpa) | Módulo Resiliente (psi) | Módulo Resiliente prom.(psi) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Base c1A | 2154 | 2180 | 99 | 51,19 | 7424,49522 | 7290,33507 |
| | 2093 | | 96 | 49,34 | 7156,17492 | |
| Base c2 | 1889 | 2000 | 94 | 72,32 | 10489,14816 | 11368,80363 |
| | 1950 | | 98 | 84,45 | 12248,4591 | |
| Base c3 | 2002 | 2058 | 97 | 58,11 | 8428,15818 | 8291,82246 |
| | 1986 | | 97 | 56,23 | 8155,48674 | |
| Base c4 | 1990 | 2032 | 98 | 57,26 | 8304,87588 | 8681,24949 |
| | 2021 | | 99 | 62,45 | 9057,6231 | |
| Sub-Base c1 | 2104 | 2120 | 99 | 72,72 | 10547,16336 | 10262,16369 |
| | 2043 | | 96 | 68,79 | 9977,16402 | |
| Sub-Base c2 | 2078 | 2100 | 99 | 49,02 | 7109,76276 | 9014,83689 |
| | 2097 | | 100 | 75,29 | 10919,91102 | |
| Sub-Base c3 | 2140 | 2211 | 97 | 36,77 | 5333,04726 | 5025,5667 |
| | 2113 | | 96 | 32,53 | 4718,08614 | |

Debido a que no se llegó al 100% de la compactación en el ensayo con densímetro nuclear para encontrar los valores de Modulo Resiliente correspondiente a la densidad

seca máxima de cada material se realizaron la Ilustración 3.45, Ilustración 3.46, Ilustración 3.47, Ilustración 3.48, Ilustración 3.49, Ilustración 3.50 y Ilustración 3.51.

**Ilustración 3-45**

*Densidad seca vs módulo resiliente - base clase 1A - de la mina "Doña Meche"*

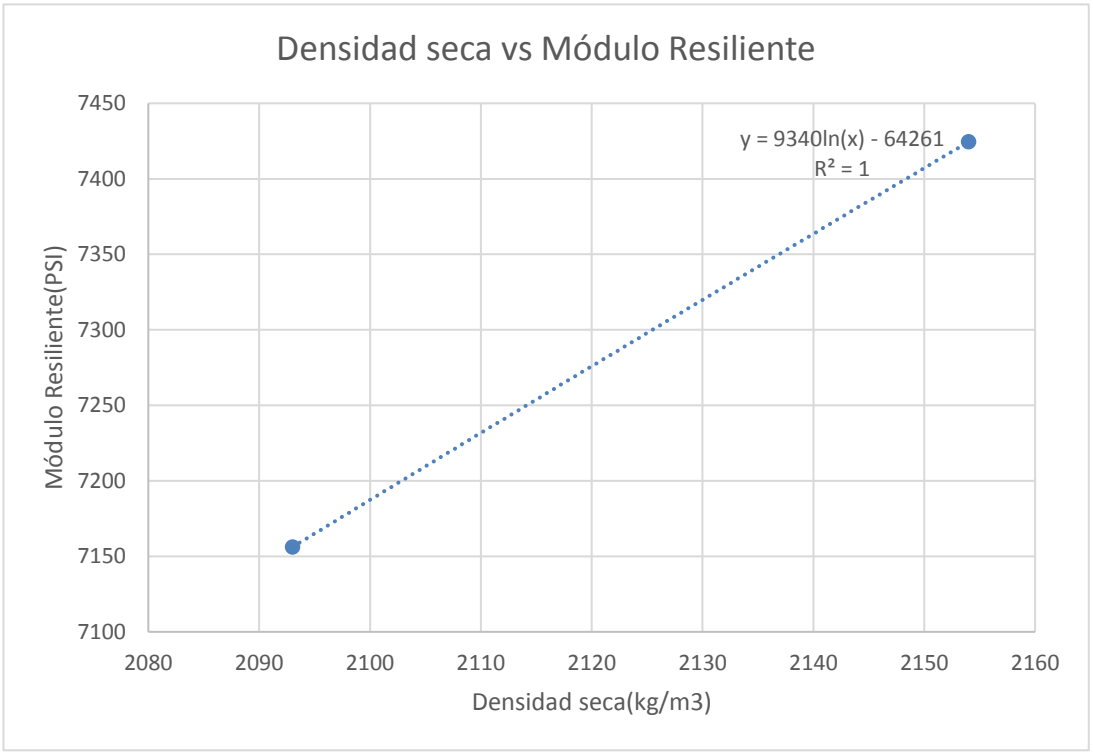


**Ilustración 3-46**

*Densidad seca vs módulo resiliente - base clase 2 - de la mina "Doña Meche"*

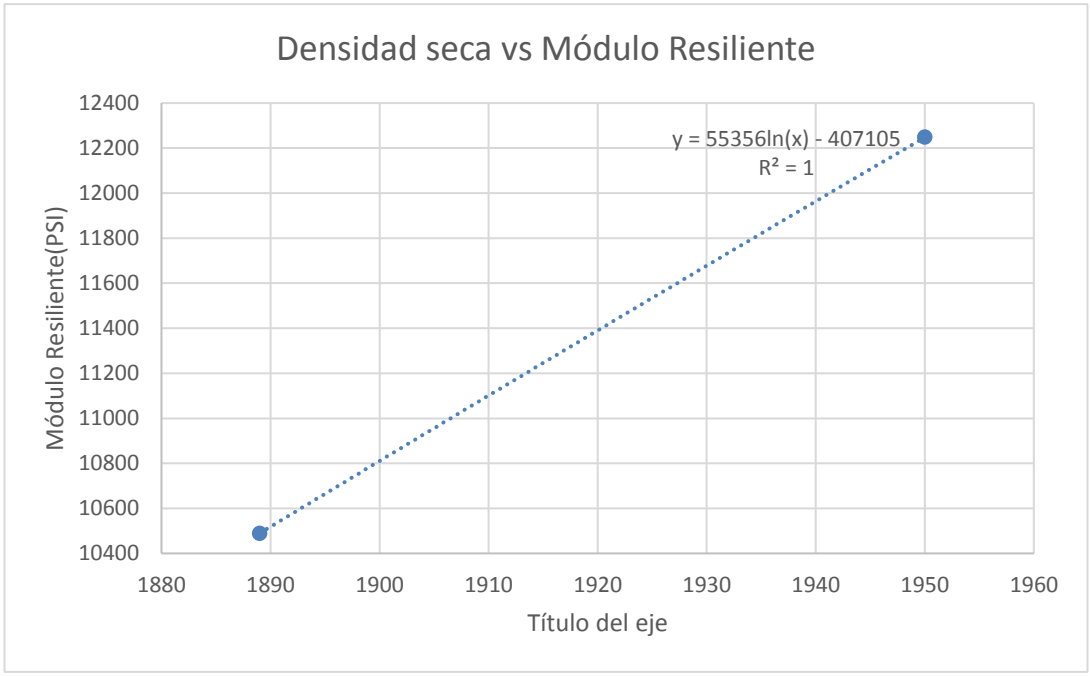



**Ilustración 3-47**

*Densidad seca vs módulo resiliente - base clase 3 - de la mina "Doña Meche"*

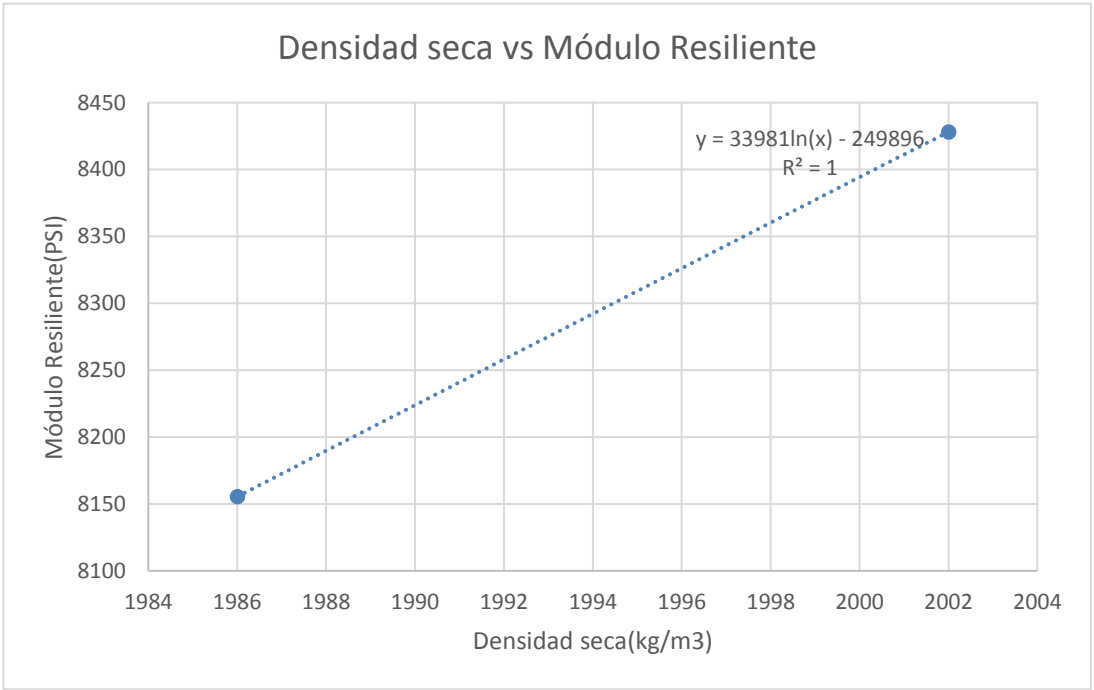


**Ilustración 3-48**

*Densidad seca vs módulo resiliente - base clase 4 – de la mina "Doña Meche"*

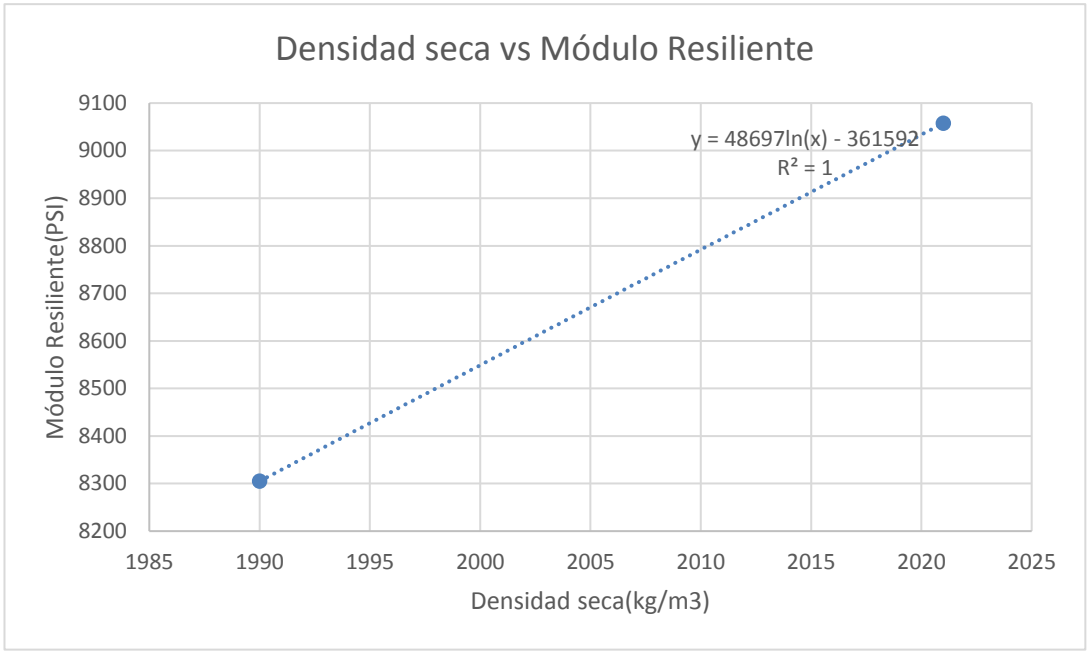



**Ilustración 3-49**

*Densidad seca vs módulo resiliente - subbase clase 1 – de la mina "Doña Meche"*

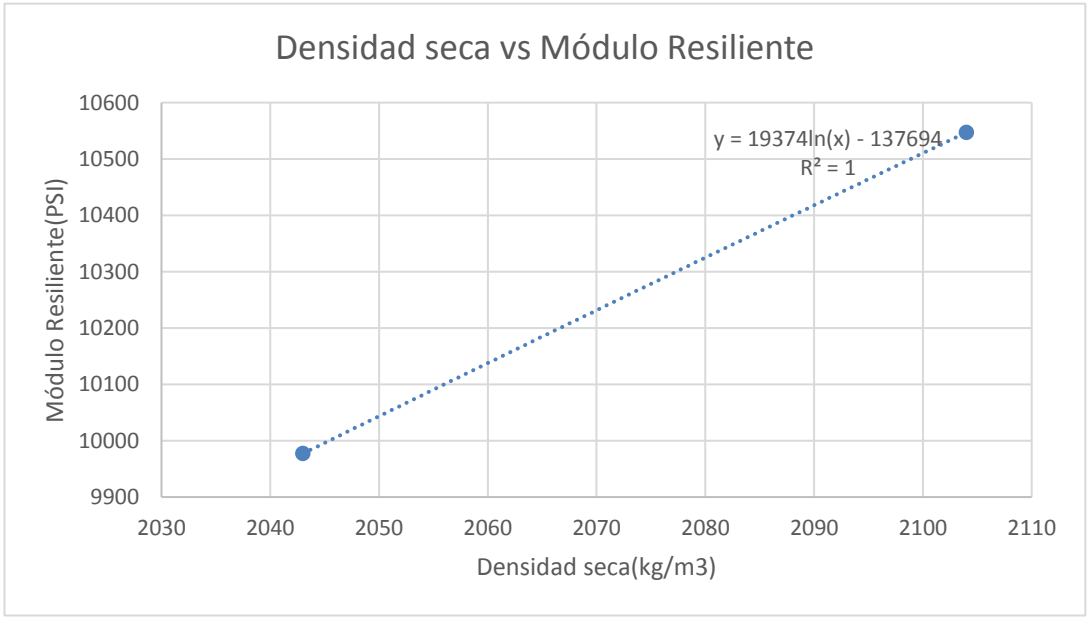


**Ilustración 3-50**

*Densidad seca vs módulo resiliente - subbase clase 2 – de la mina "Doña Meche"*

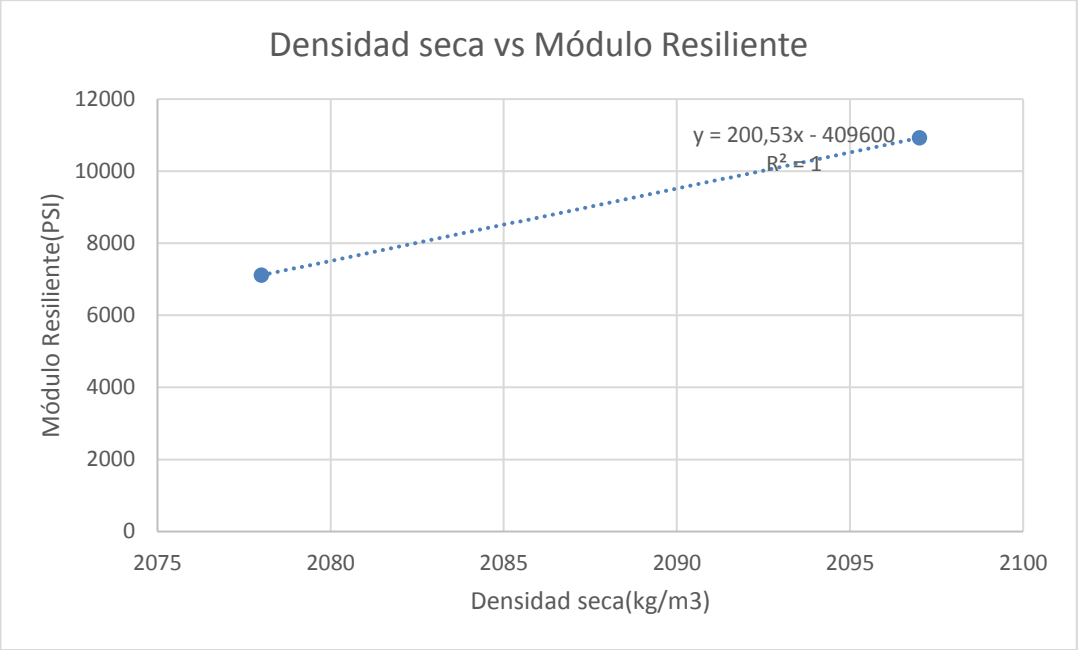
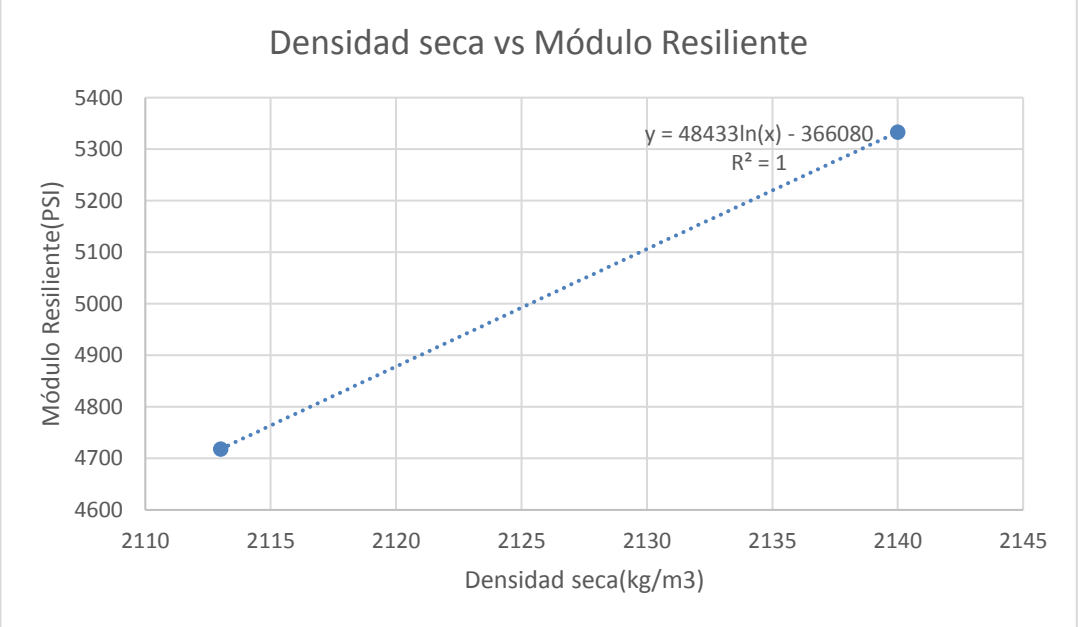



**Ilustración 3-51**

*Densidad seca vs módulo resiliente - subbase clase 3 - de la mina "Doña Meche"*



# 4 CAPÍTULO IV: CORRELACIÓN DEL CBR Y EL MÓDULO RESILIENTE

## 4.1 Correlación del CBR y el Módulo Resiliente para Bases

Los valores del porcentaje de CBR y módulo resiliente para bases de la mina "Doña Meche".

**Tabla 4-1**

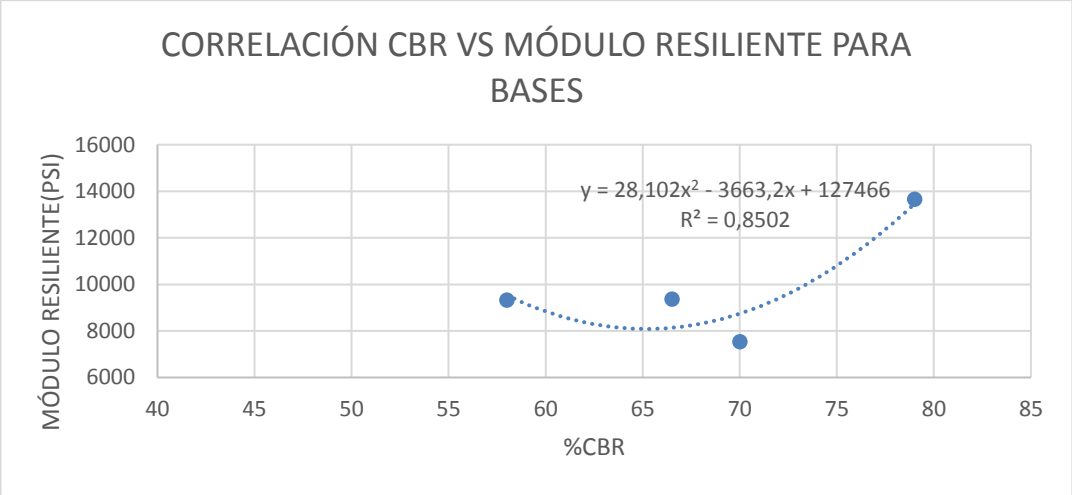
*Valores de % de CBR y módulo resiliente para bases de la mina "Doña Meche"*

| DESCRIPCIÓN | Ecuación | DS Máx. (lab.) (Densímetro Nuclear) (Kg/m3)prom. | Módulo Resiliente(psi) |
|---|---|---|---|
| Base c1A | y = 9340ln(x) - 64261 | 2180 | 7536,3287 |
| Base c2 | y = 55356ln(x) - 407105 | 2000 | 13650,5566 |
| Base c3 | y = 33981ln(x) - 249896 | 2058 | 9361,6968 |
| Base c4 | y = 48697ln(x) - 361592 | 2032 | 9322,1316 |

La correlación de módulo resiliente y CBR para bases de la mina "Doña Meche", se muestran en la Ilustración 4.1.

**Ilustración 4-1**

*Correlación de módulo resiliente y CBR para bases de la mina "Doña Meche"*




Se obtuvo la siguiente ecuación producto de la correlación entre CBR y Módulo Resiliente para Bases de la mina en estudio.

$$Mr(psi) = 28{,}102\big(C.B.R(\%)\big)^2 - 3663{,}2\big(C.B.R(\%)\big) + 127466$$

## 4.2 Correlación del CBR y el Módulo Resiliente para Sub-Bases

Los valores del porcentaje de CBR y módulo resiliente para subbases de la mina "Doña Meche", se encuentran en la Tabla 4.2.

**Tabla 4-2**

*Valores de % de CBR y módulo resiliente para subbases de la mina "Doña Meche"*

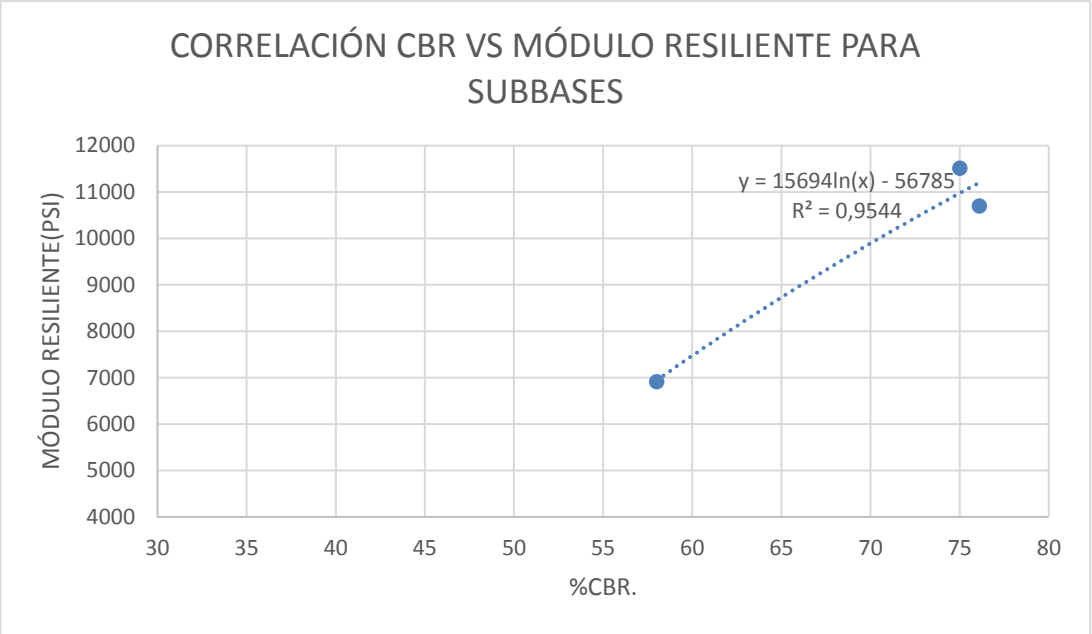
| DESCRIPCIÓN | Ecuación | DS Máx. (lab.) (Densímetro Nuclear) (Kg/m3)prom. | Módulo Resiliente(psi) |
|---|---|---|---|
| Sub-Base c1 | y = 19374ln(x) - 137694 | 2120 | 10694,7861 |
| Sub-Base c2 | y = 200,53x - 409600 | 2100 | 11513,0000 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Sub-Base c3 | y = 48433ln(x) - 366080 | 2211 | 6912,2284 |

Por su parte, la Ilustración 4.2, enseña la correlación de módulo resiliente y CBR para subbases de la mina “Doña Meche”.

**Ilustración 4-2**

*Correlación de módulo resiliente y CBR para subbases de la mina “Doña Meche”*




Se obtuvo la siguiente ecuación producto de la correlación entre CBR y Módulo Resiliente para Subbases de la mina en estudio.

$$Mr(psi) = 15694ln\big(C.B.R(\%)\big) - 56785$$

# 5 CAPÍTULO V: DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE, EJERCICIO DE APLICACIÓN

Este diseño vial se realizará con datos preliminares extraídos de Villafuerte Bermúdez & Ortega Calle (2015), estudio en el que se realizó una evaluación estructural de pavimento flexible para suelos tipo arenoso en la ciudad de Quito-Ecuador; con esa base se establecen los siguientes parámetros de diseño:

1.- El tránsito promedio diario anual, TPDA, vehículos/día, se lo muestra en la Tabla 5.1.

**Tabla 5-1**

*TPDA*

| TIPO | TPDA |
|---|---|
| LIVIANOS | 162 |
| BUSES | 14 |
| PESADOS | 134 |
| TOTAL | 310 |

*Fuente:* Tomado de Villafuerte Bermúdez & Ortega Calle (2015).

2.- El camino a diseñarse es una vía clase 2 es decir de primer orden; por lo tanto, su nivel de confianza (R) será **R=90%**, se lo indica en la Tabla 5.2.

**Tabla 5-2**

*Valores de nivel de confianza (R)*

| TIPO DE CAMINO | ZONAS URBANAS | ZONAS RURALES |
|---|---|---|
| Autopistas | 85-99,9 | 80-99,9 |

| | | |
|---|---|---|
| Carreteras de primer orden | 80-99 | 75-95 |
| Carreteras secundarias | 80-95 | 75-95 |
| Caminos vecinales | 50-80 | 50-80 |

*Fuente:* Tomado de AASHTO (1993); Villafuerte Bermúdez & Ortega Calle (2015).

3.- Se escoge un valor de desviación estándar global de **So=0,44,** de acuerdo como se muestran en la Tabla 5.3.

**Tabla 5-3**

*Valores de desviación estándar (So)*

| Valores recomendados para desviación estándar So | |
|---|---|
| Condición de diseño | Desviación estándar |
| Variación de la predicción en el comportamiento del pavimento (sin error de tráfico) | 0,25 |
| Variación total en la predicción del comportamiento del pavimento y en la estimación del trafico | 0,35 – 0,50 (0,45 valor recomendado) |

*Fuente:* Tomado de AASHTO (1993); Villafuerte Bermúdez & Ortega Calle (2015).

4.- Distribución del trafico

Según la tesis en referencia para realizar el ejercicio se toma como 50 % el valor de distribución de tráfico, ya que la vía consta de dos carriles, pero un solo contador, como lo muestra la Tabla 5.4.

**Tabla 5-4**

*Factores de distribución de carril*

| Numero de Calzadas | Numero de Calzadas | Número de Carriles por sentido | Factor Direccional (Fd) | Factor Carril (Fc) | Factor Ponderado "Dt" (Fd x Fc) para carril de diseño |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 calzada (para IMDs total de la Calzada) | 1 sentido | 1 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| | 1 sentido | 2 | 1,00 | 0,80 | 0,80 |
| | 1 sentido | 3 | 1,00 | 0,60 | 0,60 |
| | 1 sentido | 4 | 1,00 | 0,50 | 0,50 |
| | 2 sentido | 1 | 0,50 | 1,00 | 0,50 |
| | 2 sentido | 2 | 0,50 | 0,80 | 0,40 |
| 2 calzadas con separador central (para IMDs total de las dos calzadas) | 2 sentido | 1 | 0,50 | 1,00 | 0,50 |
| | 2 sentido | 2 | 0,50 | 0,80 | 0,40 |
| | 2 sentido | 3 | 0,50 | 0,60 | 0,30 |
| | 2 sentido | 4 | 0,50 | 0,50 | 0,25 |

*Fuente:* Tomado de AASHTO (1993); Villafuerte Bermúdez & Ortega Calle (2015).

5.- Periodo de diseño **n (años) = 10**

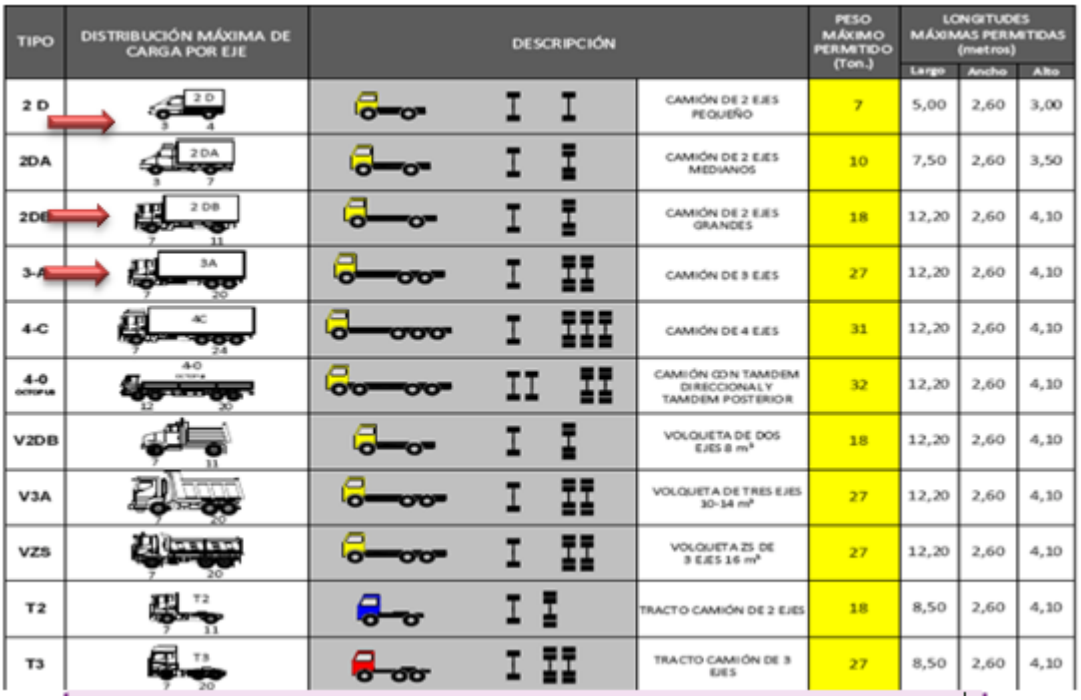
6.- La tasa de crecimiento vehicular es de **i=3%**.

7.- Número de ejes equivalentes.

De acuerdo con el tráfico promedio diario anual encontrado, se definen los tipos de vehículos que circularán sobre la vía según lo indica la Ilustración 5.1

**Ilustración 5-1**

*Tipos de vehículos para diseño de pavimentos*



| TIPO | DISTRIBUCIÓN MÁXIMA DE CARGA POR EJE | DESCRIPCIÓN | | PESO MÁXIMO PERMITIDO (Ton.) | LONGITUDES MÁXIMAS PERMITIDAS (metros) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | Largo | Ancho | Alto |
| 2 D | 2 D | | CAMIÓN DE 2 EJES PEQUEÑO | 7 | 5,00 | 2,60 | 3,00 |
| 2DA | 2 DA | | CAMIÓN DE 2 EJES MEDIANOS | 10 | 7,50 | 2,60 | 3,50 |
| 2DB | 2 DB | | CAMIÓN DE 2 EJES GRANDES | 18 | 12,20 | 2,60 | 4,10 |
| 3-A | 3A | | CAMIÓN DE 3 EJES | 27 | 12,20 | 2,60 | 4,10 |
| 4-C | 4C | | CAMIÓN DE 4 EJES | 31 | 12,20 | 2,60 | 4,10 |
| 4-0 | 4-0 | | CAMIÓN CON TAMDEM DIRECCIONAL Y TAMDEM POSTERIOR | 32 | 12,20 | 2,60 | 4,10 |
| V2DB | | | VOLQUETA DE DOS EJES 8 m³ | 18 | 12,20 | 2,60 | 4,10 |
| V3A | | | VOLQUETA DE TRES EJES 10-14 m³ | 27 | 12,20 | 2,60 | 4,10 |
| VZS | | | VOLQUETA ZS DE 3 EJES 16 m³ | 27 | 12,20 | 2,60 | 4,10 |
| T2 | T2 | | TRACTO CAMIÓN DE 2 EJES | 18 | 8,50 | 2,60 | 4,10 |
| T3 | T3 | | TRACTO CAMIÓN DE 3 EJES | 27 | 8,50 | 2,60 | 4,10 |

*Fuente:* Tomado de Ministerio de Transportes y Obras Públicas (MTOP, 2013).

Para el cálculo del tráfico promedio diario anual final se utiliza la siguiente formula:

$$TPDAf = TPDAo(1+i)^n$$

A continuación la Tabla 5.5, muestra la proyección de TPDA

**Tabla 5-5**

*Proyección de TPDA*

| Tipo | TPDAo | % | TPDAf |
|---|---|---|---|
| 2D | 171 | 52 | 230 |
| 2DB | 15 | 5 | 20 |
| 3A | 142 | 43 | 191 |
| Total | 328 | 100 | 441 |

8.- Se calcula el factor de carga equivalente de 8,2 toneladas mediante las siguientes formulas:

- Eje Simple: $Fss = \left(\frac{Lss}{6,6}\right)^4$
- Eje Doble: $Fsd = \left(\frac{Lsd}{8,2}\right)^4$
- Eje Tandem: $Ft = \left(\frac{Lt}{15}\right)^4$

A su vez, la Tabla 5.6, muestra el factor de carga equivalente de 8.2 TON

**Tabla 5-6**

*Factor de carga equivalente de 8.2 TON*

| Tipo | Carga total (ton) | Carga por eje (ton) | Porcentaje | Factor de carga equivalente por eje |
|---|---|---|---|---|
| 2D | 7 | 3 | 52% | 0,022 |
| | | 4 | | 0,070 |
| 2DB | 18 | 7 | 5% | 0,063 |
| | | 11 | | 0,162 |
| 3A | 27 | 7 | 43% | 0,544 |
| | | 20 | | 1,359 |
| | | | FCE | 2,220 |

9.-Cálculo de número de ejes de 8,2 toneladas mediante la siguiente formula:

$$N(8{,}2\ \mathrm{T}) = \left(\frac{\mathrm{TPDA_o + TPDA_f}}{2}\right) * 365 * \mathrm{n} * \mathrm{FCE} * \mathrm{Dt}$$

$$\mathrm{N}(8{,}2\ \mathrm{T}) = 1557801{,}75 = 1{,}56 * 10^6$$

10.- Se calcula el Módulo Resiliente para Subrasante asumiendo un valor de CBR= 11%, mismo valor que fue extraído de la tesis a la que se está haciendo referencia para la realización de este ejercicio, es decir Villafuerte Bermúdez & Ortega Calle (2015).

Para $7 < \text{CBR} \leq 20$ %

$$\text{Mr(psi)} = 3000\text{x CBR}^{0,65}$$

$$\text{Mr} = 14256{,}946 \text{ psi}$$

$$\mathbf{Mr = 14000\ \boldsymbol{psi}}$$

11.- Perdida de serviciabilidad.

Se calcula este índice de acuerdo con la Tabla 5.7, dada por la AASHTO:

**Tabla 5-7**

*Pérdida por serviciabilidad*

| Pérdida por serviciabilidad | | |
|---|---|---|
| Po | 4,2 a 4,5 | |
| Pt | 4 a 3 | Bueno |
| | 3 a 2 | Regular |
| | 2 a 1 | Malo |
| | 1 a 0 | Muy Malo |

*Fuente:* Tomado de AASHTO (1993); Villafuerte Bermúdez & Ortega Calle (2015).

Para este ejercicio se escoge el valor de índice de servicio inicial Po=4 e índice de servicio final para autopistas Pt=2

$$PSI = P_o - PT$$

$$PSI = 4 - 2$$

$$\boldsymbol{PSI = 2}$$

## 5.1 Diseño basado en el método tradicional AASHTO-93

Se calcula el numero estructural para cada capa con ayuda de monogramas y luego se comprueba su valor con el programa ecuación AASHTO 93.

- SUBRASANTE

R = 90%

So = 0.44 N

(8.2T) = $1{,}56 * 10^6$

M.R. = 14000 psi

PSI = 2

La Ilustración 5.2, enseña el cáculo mediante nomograma y la Ilustración 5.3 el número estructural de subrasante del programa AASHTO 1993.

**Ilustración 5-2**

*Cálculo de número estructural para subrasante con nomograma AASHTO-93*

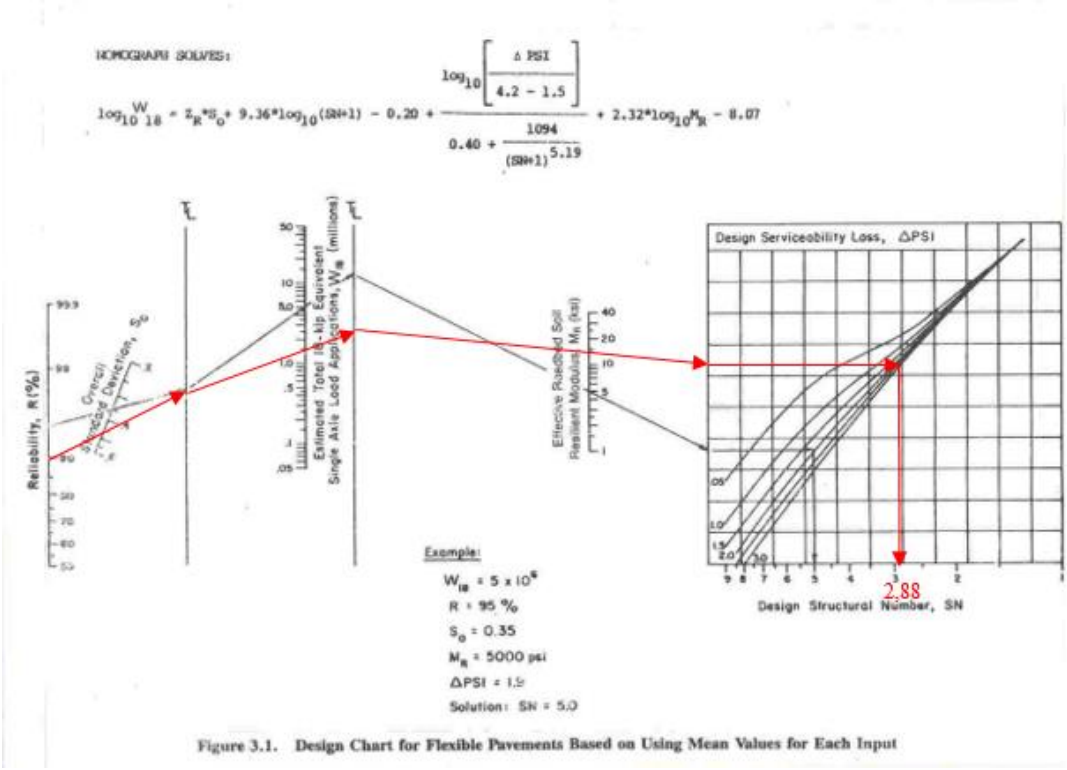
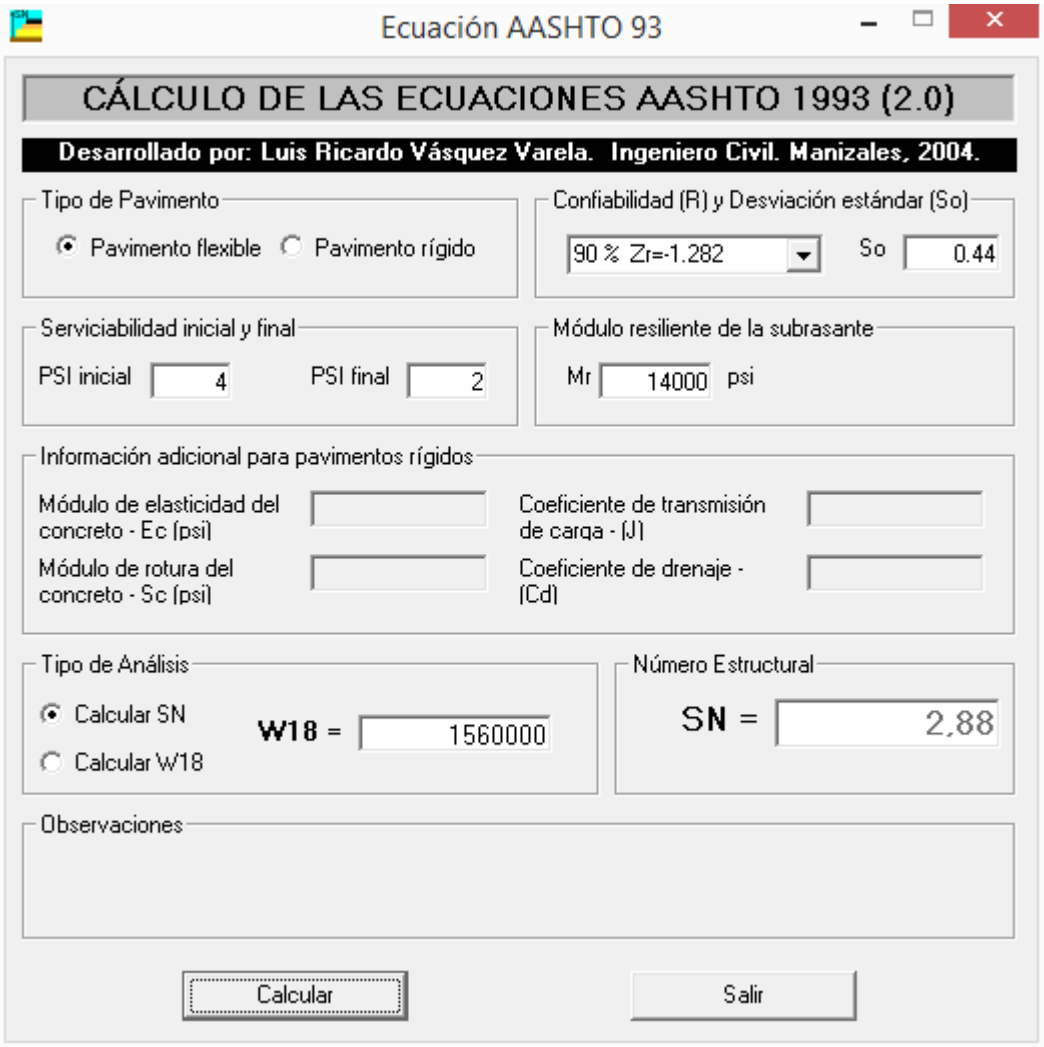



Figure 3.1. **Design Chart for Flexible Pavements Based on Using Mean Values for Each Input**

**Ilustración 5-3**

*Número estructural de subrasante, programa AASHTO 1993*




SN=2,88

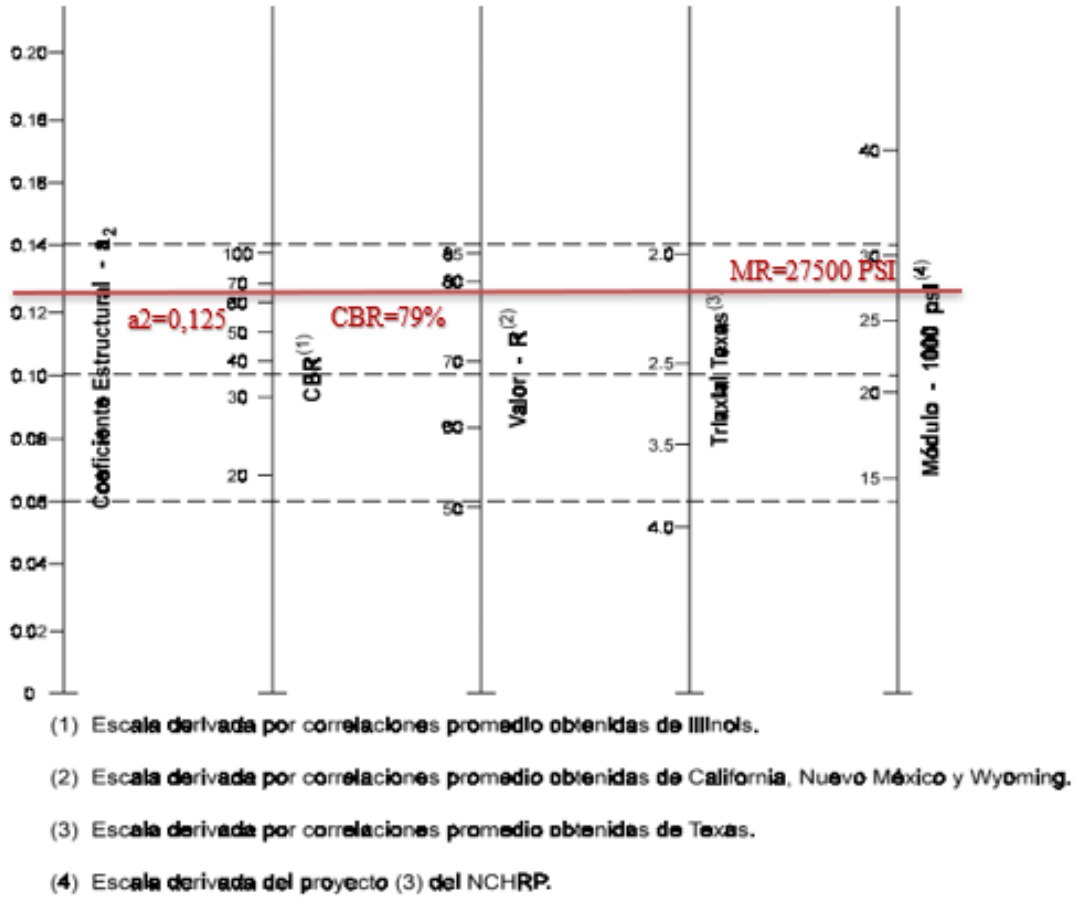
- BASE

Para el cálculo del número estructural de la base, se utilizará la Base Clase 2 de la mina "Doña Meche", con un valor de CBR de 79,00%.

La Ilustración 5.4, indica los coeficientes capa "A2", bases granulares

**Ilustración 5-4**

*Coeficientes capa "A2", bases granulares*




Donde

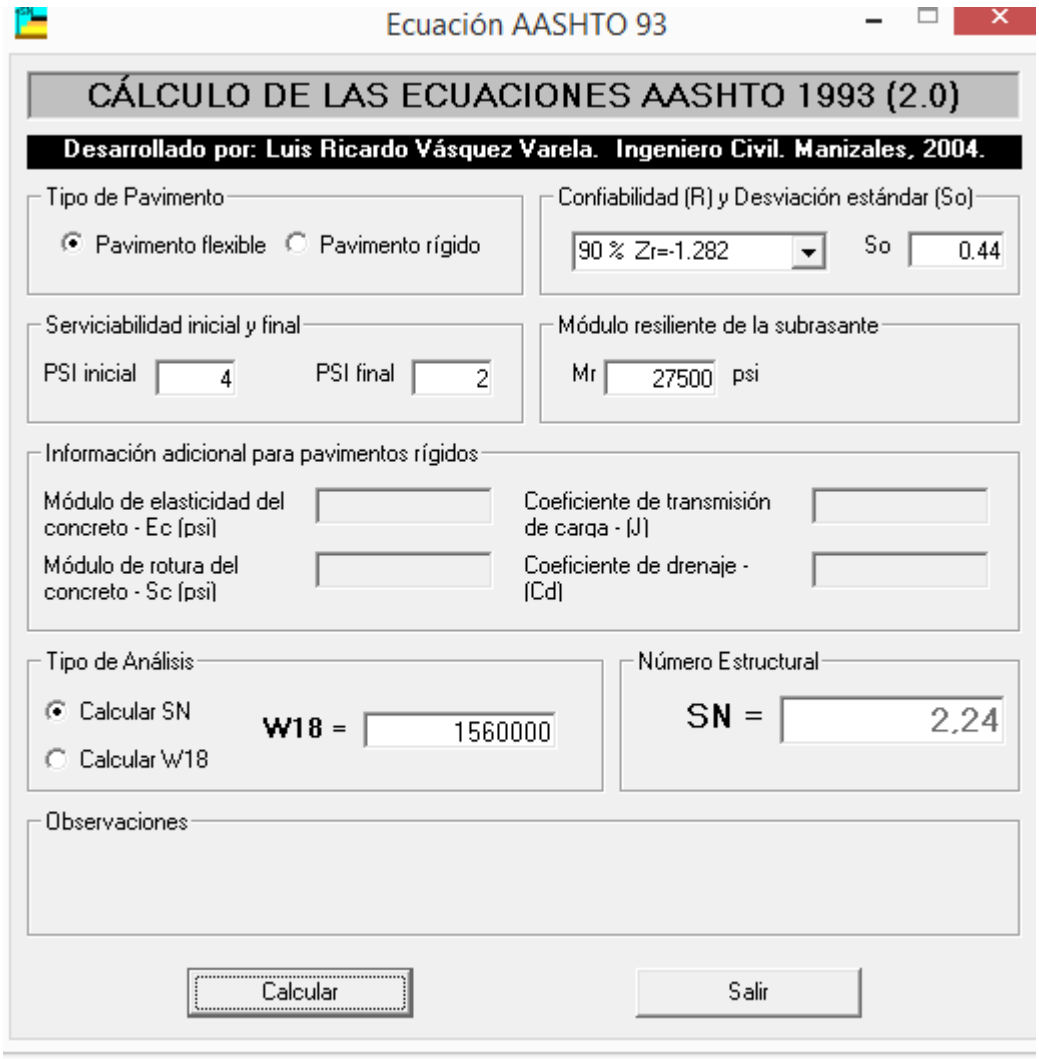
$$a2 = \frac{0{,}125 pulg.}{2{,}54\ cm} = 0{,}049 cm$$

$$MR = 27500\ psi$$

Por su parte, la Ilustración 5.5, muestra el número estructural de base clase 2 en el programa AASHTO 1993

**Ilustración 5-5**

*Número estructural de base clase 2, programa AASHTO 1993*




$$SN = 2{,}24$$

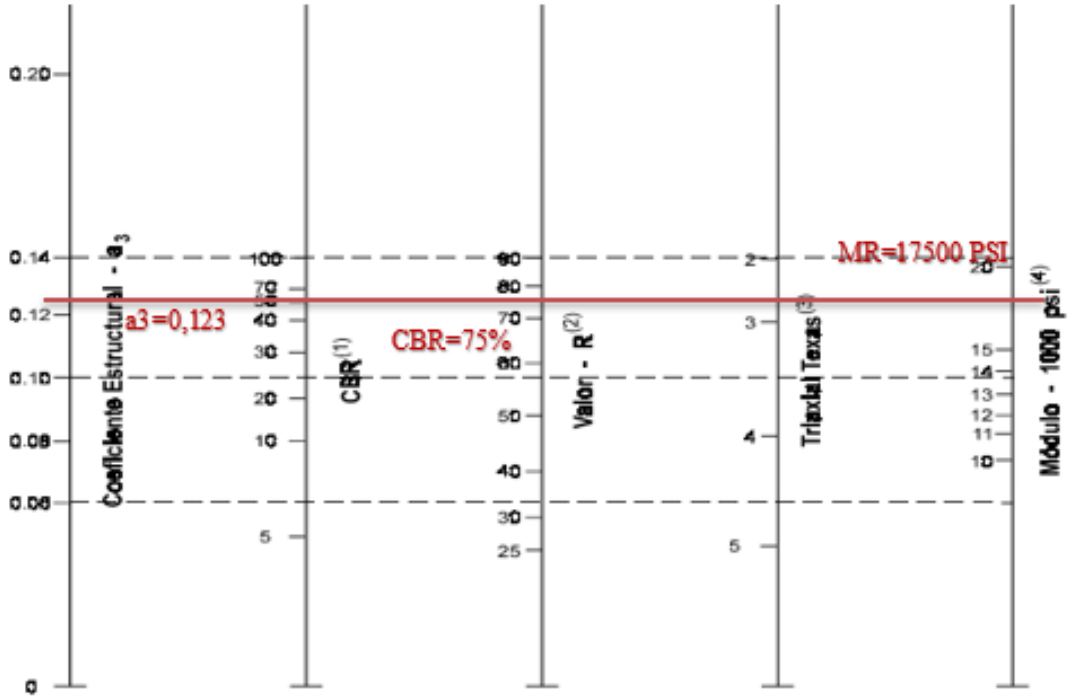
- Subbase

Para el cálculo del número estructural de la subbase, se utilizará la Subbase Clase 2 de la mina “Doña Meche”, con un valor de CBR de 75%.

La ilustración 5.6, detalla los coeficientes capa “A3”, subbases granulares

**Ilustración 5-6**

*Coeficientes capa "A3", subbases granulares*




(1) Escala derivada de correlaciones de Illinois.

(2) Escala derivada de correlaciones obtenidas del Instituto del Asfalto, California, Nuevo México y Wyoming.

(3) Escala derivada de correlaciones obtenidas de Texas.

(4) Escala derivada del proyecto (3) del NCHRP.

Donde:

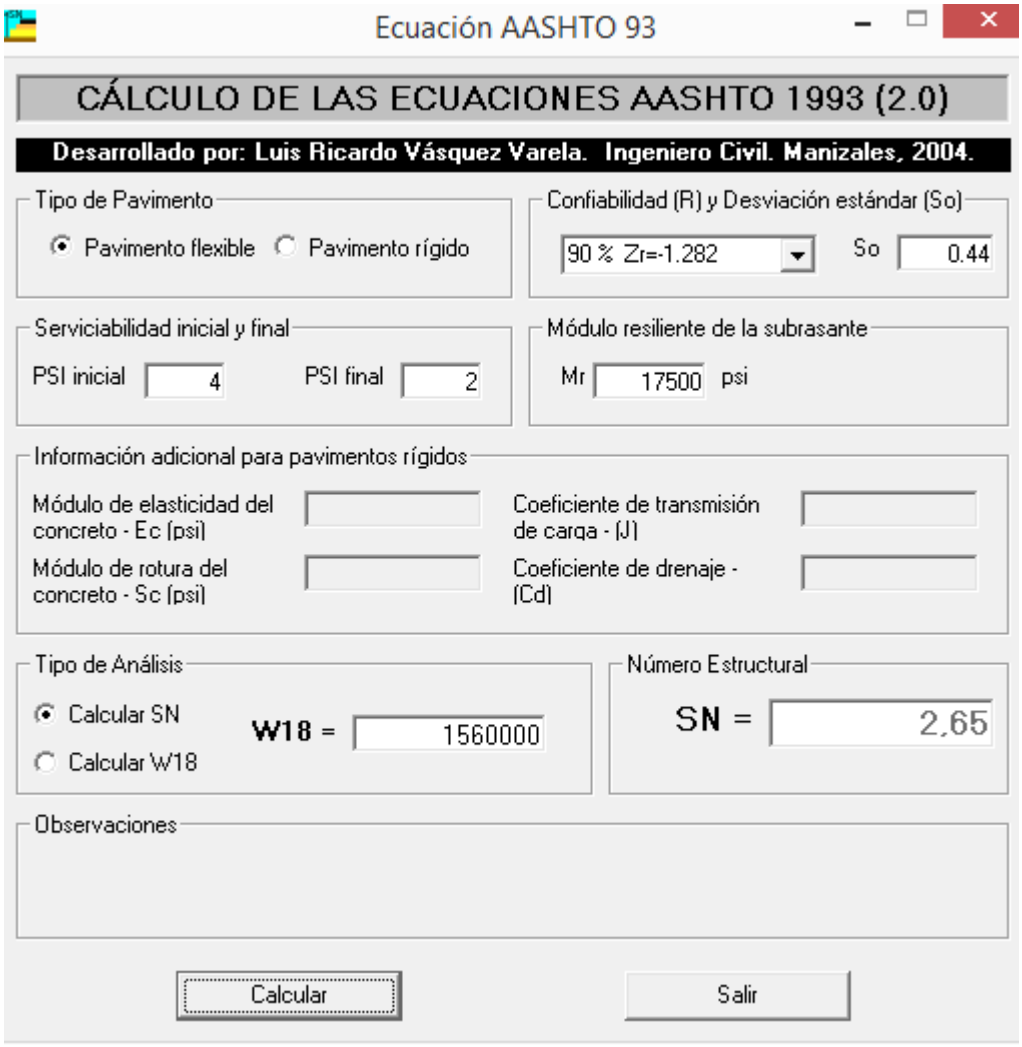
$$a3 = \frac{0{,}123\text{pulg.}}{2{,}54\text{ cm}} = 0{,}048\text{ cm}$$

$$MR = 17500\ psi$$

El número estructural de subbase clase 2 del programa AASHTO 1993, se lo encuentra en la Ilustración 5.7.

**Ilustración 5-7**

*Número estructural de subbase clase 2, programa AASHTO 1993*




$SN = 2{,}65$

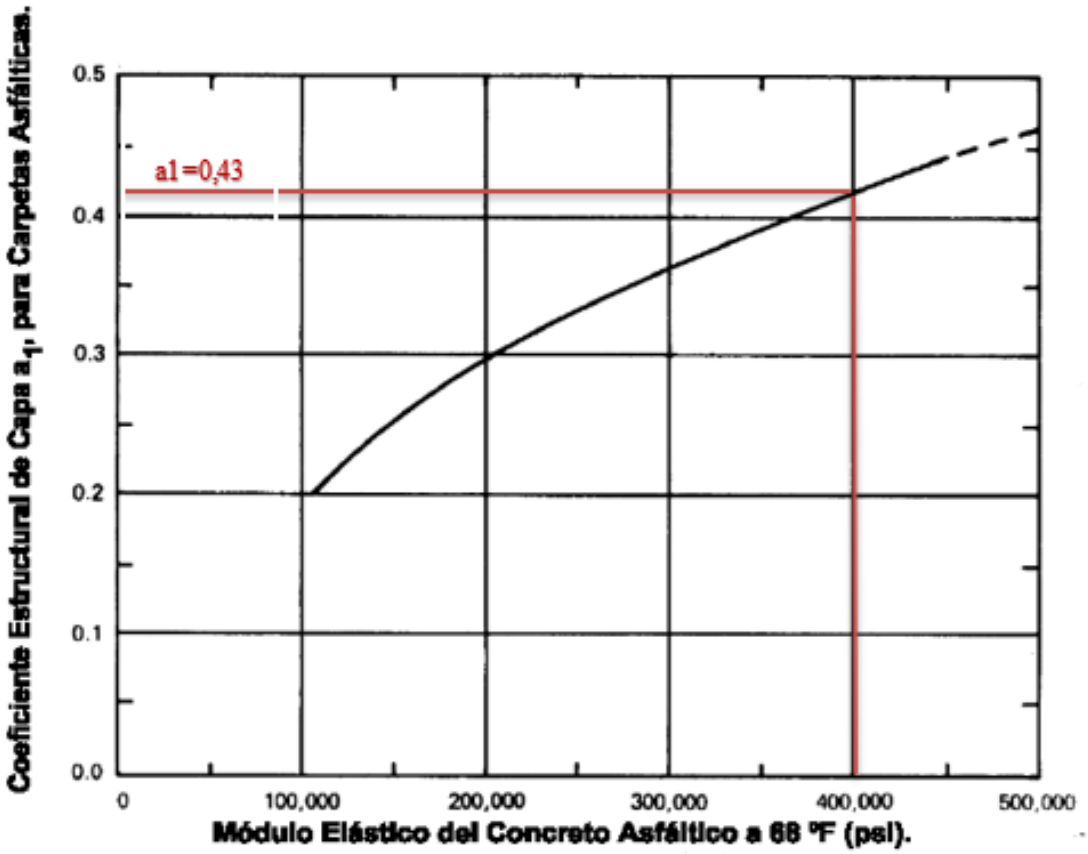
- Carpeta Asfáltica

Para el cálculo del coeficiente estructural de la capa de rodadura asfáltica se asume un Módulo Resiliente de 400 000 psi.

El coeficiente estructural para carpeta asfáltica, se muestra en la Ilustración 5.8.

**Ilustración 5-8**

*Coeficiente estructural para carpeta asfáltica (PLG.)*




Donde:

$$a1 = \frac{0{,}43\text{pulg.}}{2{,}54\text{ cm}} = 0{,}169\text{ cm}$$

13.- Para el cálculo de los diferentes espesores de las capas de la estructura del pavimento se utilizará un coeficiente de drenaje m=1.

- Carpeta asfáltica

$$\mathrm{D1} = \frac{2{,}24}{0{,}169 * 1} = 13{,}25 \approx 10\text{ cm}$$

$$\text{SN real} = 10\ \text{cm} * 0{,}169 * 1 = 1{,}69$$

- Base clase 2

$$\text{D2} = \frac{2{,}65 - 1{,}69}{0{,}049 * 1} = 19{,}59\ \text{cm} \approx 20\ \text{cm}$$

$$\text{SN real} = 20\ \text{cm} * 0{,}049 * 1 = 0{,}98$$

- Subbase clase 2

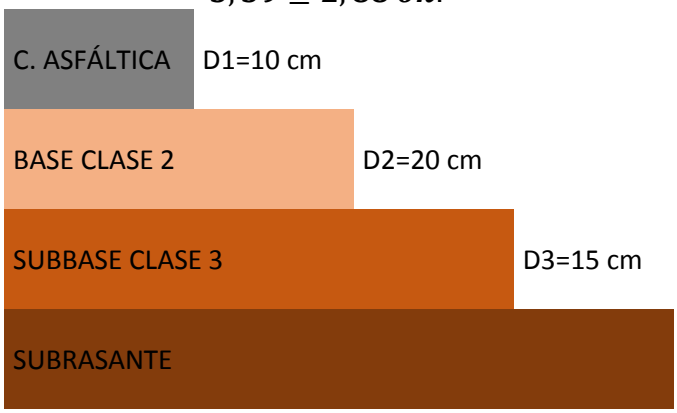
$$\text{D3} = \frac{2{,}88 - 1{,}69 - 0{,}98}{0{,}048 * 1} = 4{,}38\ \text{cm} \approx 15\ \text{cm}$$

$$\text{SN real} = 15\ \text{cm} * 0{,}048 * 1 = 0{,}72$$

COMPROBACIÓN

$$1{,}69 + 0{,}98 + 0{,}72 \geq 2{,}88$$

$$\mathbf{3{,}39 \geq 2{,}88\ \boldsymbol{ok}!}$$



## 5.2 Diseño realizado mediante la correlación encontrada

Teniendo como base los mismos datos iniciales del ejercicio anterior se calculan los números estructurales de las capas de estructura del pavimento.

- SUBRASANTE

R = 90%

So = 0.44 N

(8.2T) = $1{,}56 * 10^{6}$

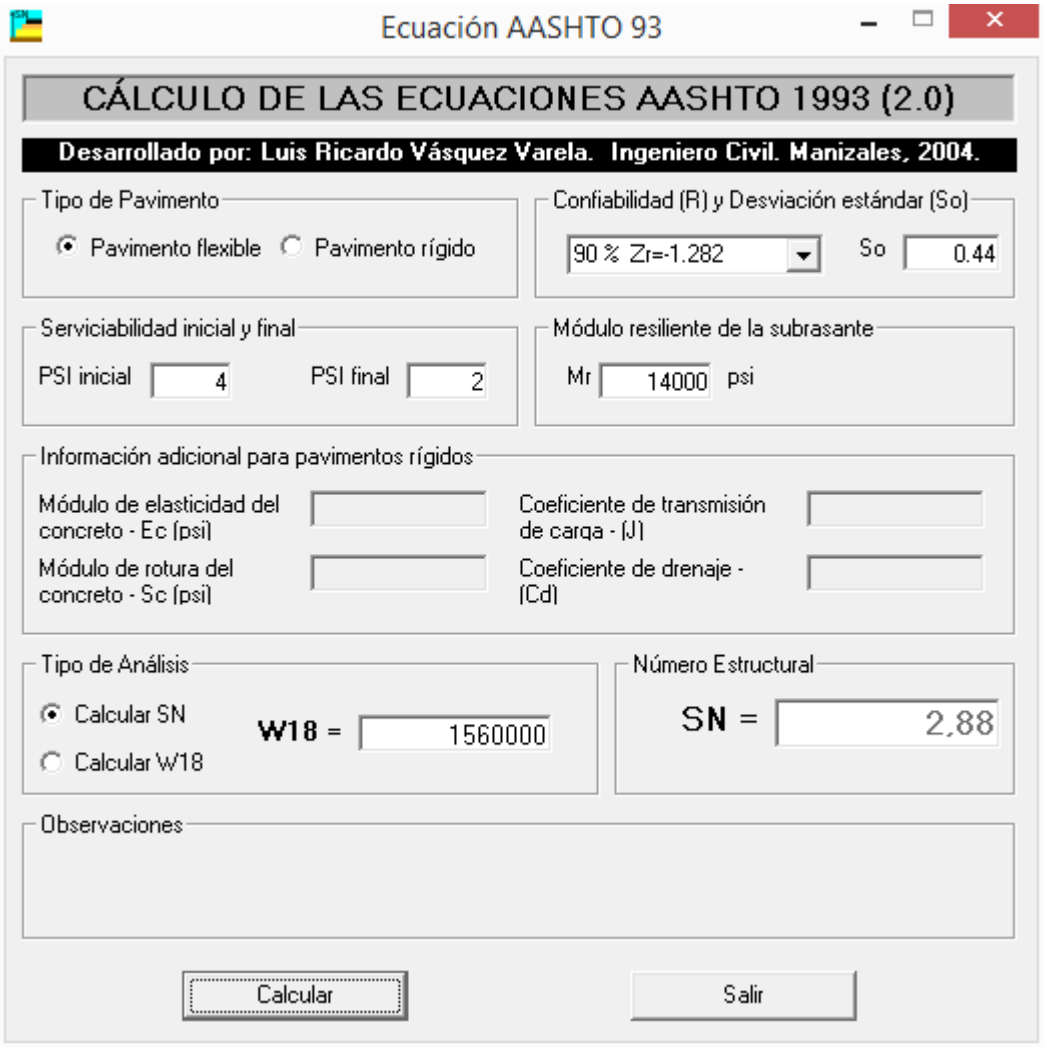
M.R. = 14000 psi

PSI = 2

El número estructural de subrasante del programa AASHTO 1993, se lo puede observar en la Ilustración 5.9.

**Ilustración 5-9**

*Número estructural de subrasante, programa AASHTO 1993*




SN=2,88

- BASE CLASE 2

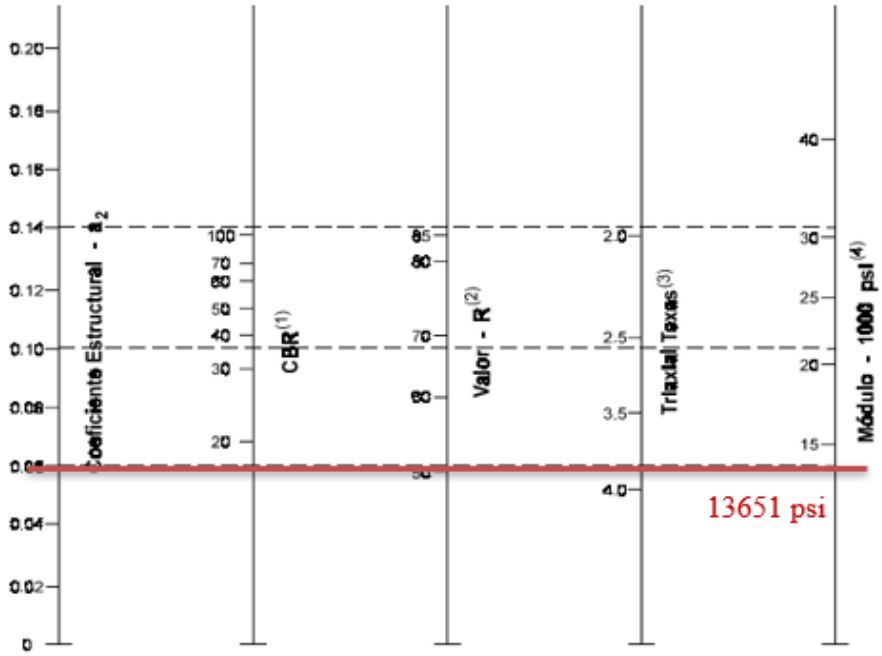
El módulo resiliente para la Base Clase 2 de la mina “Doña Meche” es de

13651 psi.

Por su parte, la Ilustración 5.10, indica los coeficientes capa “a2”, bases granulares.

**Ilustración 5-10**

*Coeficientes capa "a2". bases granulares*




Donde:

$$a2 = \frac{0{,}060 pulg.}{2{,}54\ cm} = 0{,}024\ cm$$

$$MR = 13651\ \ psi$$

El número estructural de base clase 2 del programa AASHTO 1993, se detalla en la Ilustración 5.11.

**Ilustración 5-11**

*Número estructural de base clase 2, programa AASHTO 1993*




$$SN = 2{,}90$$

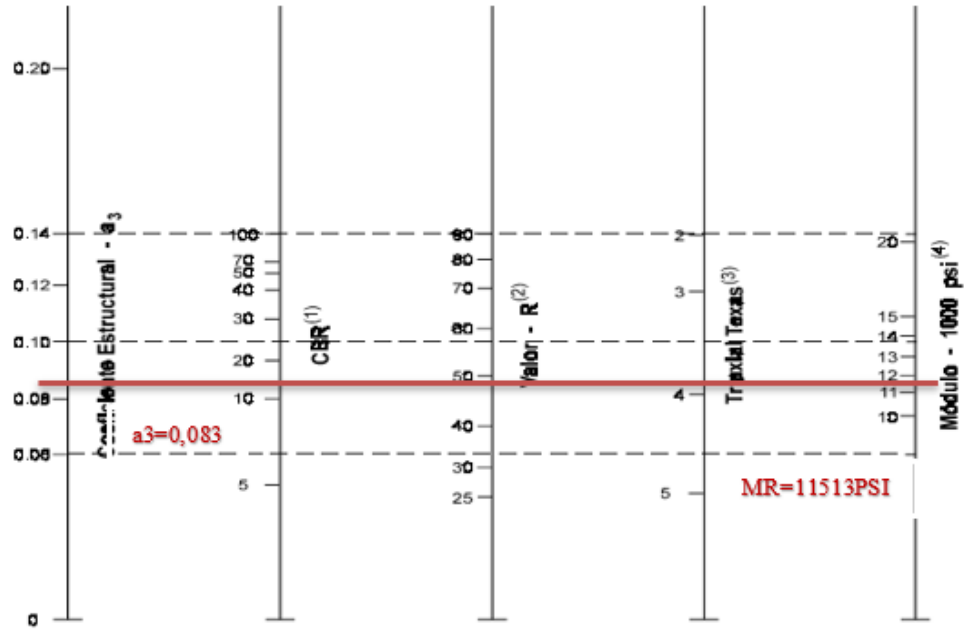
- SUBBASE CLASE 2

El módulo resiliente para la Subbase Clase 2 de la mina “Doña Meche” es de 11513 psi.

Los Coeficientes capa “a3”, subbases granulares, se indican en la Ilustración 5.12.

**Ilustración 5-12**

*Coeficientes capa "a3", subbases granulares*




Donde:

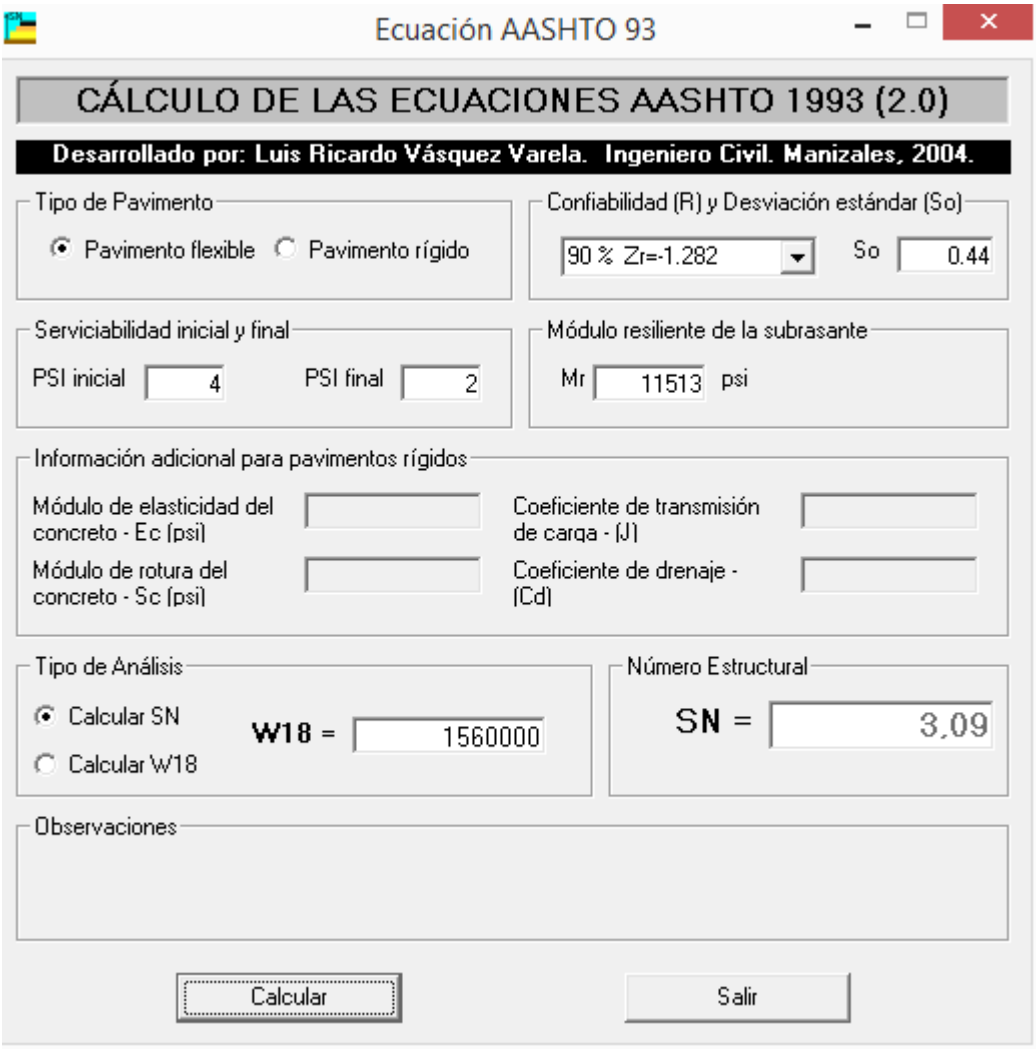
$$a3 = \frac{0{,}083\text{pulg.}}{2{,}54\text{ cm}} = 0{,}033\text{cm}$$

$$MR = 11513\,psi$$

Así mismo, el número estructural de subbase clase 2 del programa AASHTO 1993, se observa en la Ilustración 5.13.

**Ilustración 5-13**

*Número estructural de subbase clase 2, programa AASHTO 1993*




$$SN = 3{,}09$$

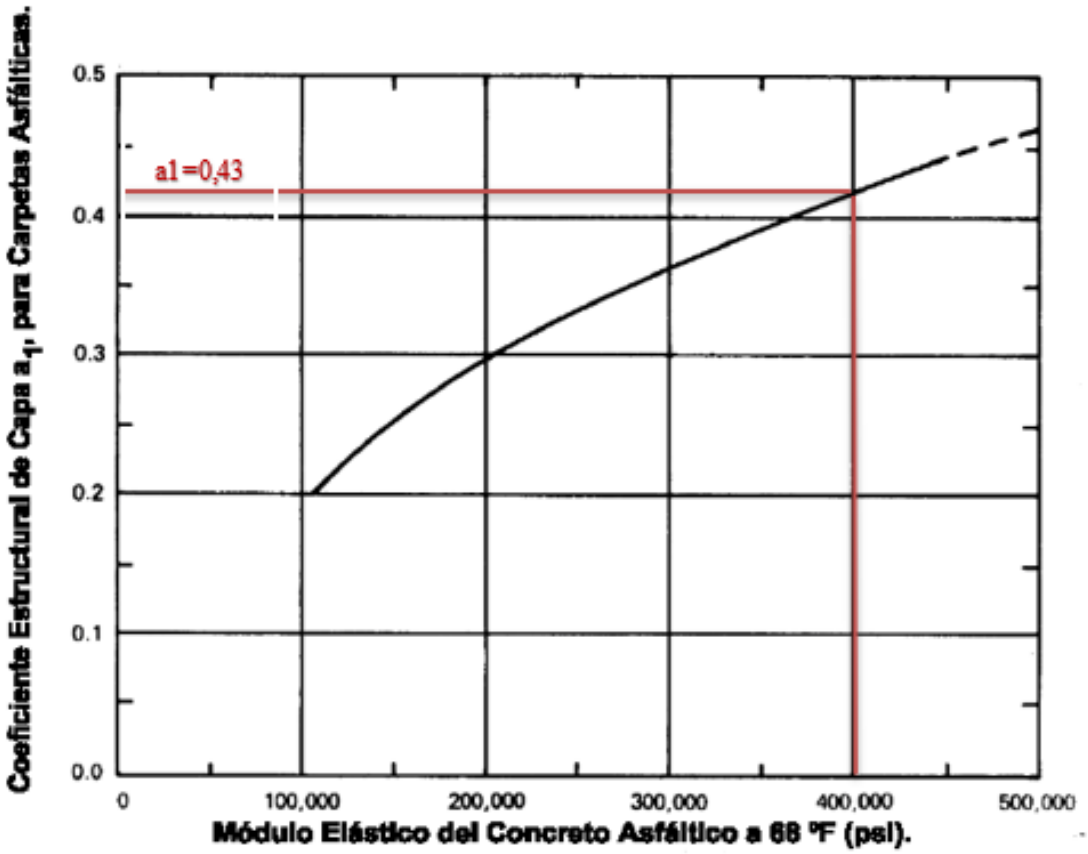
- Carpeta Asfáltica

Para el cálculo del coeficiente estructural de la capa de rodadura asfáltica se asume un Módulo Resiliente de 400 000 psi igual que el anterior ejercicio.

El coeficiente estructural para carpeta asfáltica, se lo observa en la Ilustración 5.14.

**Ilustración 5-14**

*Coeficiente estructural para carpeta asfáltica (plg.)*




Donde:

$$a1 = \frac{0{,}43\text{pulg.}}{2{,}54\text{ cm}} = 0{,}169\text{ cm}$$

Para el cálculo de los diferentes espesores de las capas de la estructura del pavimento se utiliza un coeficiente de drenaje m=1 como el anterior ejercicio.

- Carpeta asfáltica

$$\mathrm{D1} = \frac{2{,}90}{0{,}169 * 1} = 17{,}16 \approx 10\text{ cm}$$

$$\text{SN real} = 10\ \text{cm} * 0{,}169 * 1 = 1{,}69$$

- Base clase 2

$$\text{D2} = \frac{3{,}09 - 1{,}69}{0{,}024 * 1} = 58{,}33 \approx 25\ \text{cm}$$

$$\text{SN real} = 25\ \text{cm} * 0{,}024 * 1 = 0{,}60$$

- Subbase clase 2

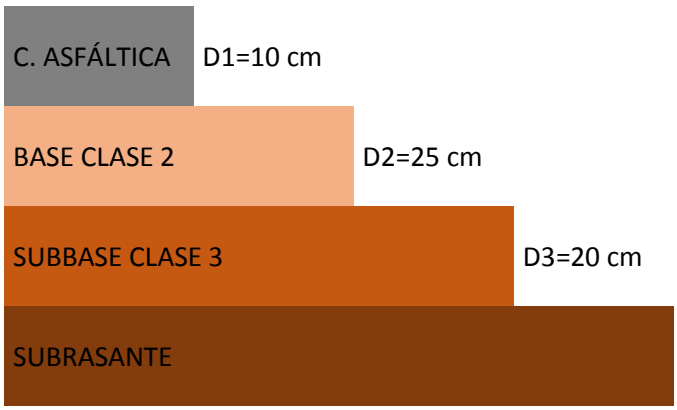
$$\text{D3} = \frac{2{,}88 - 1{,}69 - 0{,}60}{0{,}033 * 1} = 17{,}88 \approx 20\ \text{cm}$$

$$\text{SN real} = 20\ \text{cm} * 0{,}033 * 1 = 0{,}66$$

**COMPROBACIÓN**

$$1{,}69 + 0{,}60 + 0{,}66 \geq 2{,}88$$

$$\mathbf{2{,}95 \geq 2{,}88\ \boldsymbol{ok}!}$$



### 5.2.1 Comparación de resultados

La comparación de resultados de espesores de estructura de pavimento determinados con ambos métodos, se los indica en la Ilustración 5.15.

**Ilustración 5-15**

*Espesores de estructura de pavimento determinados con ambos métodos*

| | Método tradicional AASHTO. | Método correlación Geogauge. |
|---|---|---|
| Espesores | 10 cm | 10 cm |
| | 20 cm | 25 cm |
| | 15 cm | 20 cm |

# 6 CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

## 6.1 Conclusiones

La base y subbase de la mina en estudio cumple con la granulometría según las tablas 404-4.2. y tabla 403-1.1. del Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTOP). Siendo estas clasificadas como base clase 2 y subbase clase 3 respectivamente. Según la normativa del MTOP el porcentaje de desgaste a la abrasión tiene que ser no mayor a 40 para bases, mientras que las subbases no deberán presentar un desgaste mayor a 50. En tal caso, el material proveniente de la mina "Doña Meche" arrojó valores de porcentajes de abrasión para base de 21% y para subbase de 17%; por lo que cumplen con las especificaciones del Ministerio en mención.

Para el ensayo de sulfatos, la Entidad indica que no puede haber una pérdida de peso mayor al 12 % tanto para agregado fino y grueso. En tal virtud, los valores obtenidos en este ensayo son 1,75% para agregado fino y 4,27% para agregado, estando así dentro del rango permitido por la norma.

Por su parte, el ensayo de contenido orgánico realizado bajo la normativa ASTM C40 indica un valor de tres en la escala de Gardner; lo que significa que es un dato aceptable y se puede usar el material en proyectos viales. Además, según la clasificación sucs el material es GW y la clasificación AASHTO es A-1-a; el material tiene un límite líquido menor de 25 y un índice de plasticidad menor de 6, por lo que cumple con la normativa del MTOP.

Cabe también indicar que el libro del MTOP (2002) indica que el valor mínimo del CBR para bases es igual o mayor al 80%, y para subbases mayor o igual al 30%; comparando estos datos con los resultados del presente estudio, obtenidos del ensayo CBR realizado, se puede concluir que las bases no cumplen con este parámetro mientras que las subbases se encuentra dentro de los parámetros requeridos; por ello es posible afirmar que se puede utilizar en proyectos viales.

Es importante determinar que se realizó el diseño de la estructura del pavimento mediante el método tradicional de la AASHTO y con la correlación encontrada; de lo cual, comparando ambos diseños, se puede observar que los espesores de las capas de base y subbase obtenidos con la correlación es mayor.

## 6.2 RECOMENDACIONES

Se recomienda utilizar los agregados de la mina "Doña Meche" para futuros proyectos viales en la provincia de Esmeraldas, debido a que sus propiedades mecánicas cumplen con la normativa requerida.

Asimismo, se recomienda que en la realización del ensayo Geogauge se tome en consideración varios puntos, puesto que eso brindará una mayor precisión al momento de hallar la correlación CBR vs. Módulo de Young.

Finalmente, es recomendable realizar cuidadosamente la toma de muestras para cálculo de humedades en el ensayo CBR para obtener mayor precisión en los resultados. Y, para la realización del ensayo Geogauge se recomienda compactar bien el material porque ese es un factor clave para encontrar la correlación esperada.

# 7 BIBLIOGRAFÍA


American Association of State Highway and Transportation Officials [AASHTO]. (1993). *Guide for Design of Pavement Structures*. AASHTO. https://books.google.com.ec/books?id=1HRB12tBQNMC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false

American Society of Testing Materials [ASTM]. (1984). *D4318 Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils*. ASTM.

American Society of Testing Materials [ASTM]. (1997). *C142 Standard Test Method for Clay Lumps and Friable Particles in Aggregates*. ASTM.

American Society of Testing Materials [ASTM]. (1999). *C40 Método de ensayo normalizado para la detección de impurezas orgánicas en agregados finos para concreto*. ASTM.

American Society of Testing Materials [ASTM]. (2003). *C702 Práctica normativa para Reducir las muestras de agregados a tamaño de prueba*. ASTM.

American Society of Testing Materials [ASTM]. (2004). *C127 Método de ensayo normalizado para determinar la densidad, la densidad relativa (gravedad específica), y la absorción de agregados gruesos*. ASTM.

American Society of Testing Materials [ASTM]. (2006a). *ASTM C127-Gravedad específica y absorción del agregado grueso*. ASTM. https://idoc.pub/documents/astm-c127-07-densidad-relativa-gravedad-especifica-y-absorcion-de-agregado-grueso-pnxkogzvqg4v

American Society of Testing Materials [ASTM]. (2006b). *ASTM C128-Gravedad específica y absorción del agregado fino*. ASTM.

American Society of Testing Materials [ASTM]. (2008a). *C33 Especificación Normalizada para Agregados para Concreto*. ASTM.

American Society of Testing Materials [ASTM]. (2008b). *D6758 Measuring Stiffness and Apparent Modulus of Soil and Soil Aggregate*. ASTM.

American Society of Testing Materials [ASTM]. (2011). *D2487 Método de Ensayo Estándar para la Clasificación de Suelos con Propósitos de Ingeniería*. ASTM.

American Society of Testing Materials [ASTM]. (2012). *D1557 Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort (56,000 ft-lbf/ft3 (2,700 kN-m/m3))*. ASTM

American Society of Testing Materials [ASTM]. (2014a). *C131 Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine*. ASTM.

American Society of Testing Materials [ASTM]. (2014b). *C88 Standard Test Method for Soundness of Aggregates by Use of Sodium Sulfate or Magnesium Sulfate*. ASTM.

American Society of Testing Materials [ASTM]. (2014c). *D2418 Método para determinar el Equivalente de Arena de Agregados y Suelos Finos*. ASTM.

American Society of Testing Materials [ASTM]. (2014d). *D2419 Metodo para determinar el Equivalente de Arena de Agregados y Suelos Finos.* ASTM.

American Society of Testing Materials [ASTM]. (2015). *D3282 Standard Practice for Classification of Soils and Soil-Aggregate Mixtures for Highway Construction Purposes.* ASTM.

American Society of Testing Materials [ASTM]. (2016). *D1883 Standard Test Method for California Bearing Ratio (CBR) of Laboratory-Compacted Soils.* ASTM.

Badillo, J., & Rodríguez, R. (2004). *Mecánica de Suelos [Tomo 2]: Teoría y aplicación de la mecánica de suelos*. Limusa.

Cárdenas Garcés, C., & Garro Cossio, O. (1997). *Pavimentos: División de investigaciones y Asesorías*. Colección Universidad de Medellín.

Humboldt Corporation. (2007*). Geogauge User Guide*. Norridge.

Instituto Ecuatoriano de Normalización [INEN]. (2010). NTE INEN 2 566 sobre áridos y reducción de muestras a tamaño de ensayo. (Ecuador). https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/2566.pdf

Jiménez, J. & De Justo, J. (1975). *Geotécnia y Cimientos I. Propiedades de los suelos y de las rocas*. Editorial Rueda.

Kraemer, C., & Del Val, M. (1996). *Firmes y Pavimentos.* Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de España.

Martínez, P., & Azuaga, M. (1997). *Medición del Módulo de Elasticidad de Young*. Universidad de Buenos Aires.

López, J., & Reyes, M. (2012). *Capas Granulares y estabilizadores de pavimentos*. Asociación Mexicana del Asfalto.

Montejo Fonseca, A. (2002). *Ingeniería de Pavimentos para Carreteras [Tomo I]*. Ediciones y Publicaciones Universidad Católica de Colombia.

Rondón Quintana, H. A. (2016). *Pavimentos: materiales, construcción y diseño*. EcoeEdiciones. https://elibro.puce.elogim.com/es/ereader/puce/70435?page=359.

Villafuerte Bermúdez L., & Ortega Calle, K. (2015). *Evaluación estructural de pavimento flexible para suelos tipo arenoso* [Tesis de grado, Pontificia Universidad Católica del Ecuador]. http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/8513

Zárate Equino, M. (2007). *Diseño de pavimentos flexibles.* Asociación Mexicana del Asfalto.

Braja M., D. (2001). Fundamentos de ingeniería geotécnica (1ª. Ed.). México: International Thomson.

# 8 ANEXOS

## Anexo 1

*Realización ensayo Proctor*



**Anexo 2**

*Realización ensayo gravedad específica agregado fino*



**Anexo 3**

*Ensayo equivalente de arena*



**Anexo 4**

*Ensayo contenido de materia orgánica*



**Anexo 5**

*Ensayo CBR*



**Anexo 6**

*Compactación del material para ensayo Geogauge*



**Anexo 7**

*Toma de densidades y humedades*



**Anexo 8**

*Ensayo Geogauge*

