



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE NICARAGUA

RECINTO UNIVERSITARIO RUBÉN DARÍO

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍAS

DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCIÓN

**TRABAJO MONOGRÁFICO PARA OPTAR AL TÍTULO DE:
INGENIERO CIVIL**

**PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL MATERIAL SELECTO Y ESCORIA
VOLCÁNICA (HORMIGÓN) PROVISTO POR LOS FRENTES DE EXPLOTACIÓN
ACTIVOS EN LOS BANCOS DE PRÉSTAMO: SAN ISIDRO LIBERTADOR, LA VETA,
MINA SANDINO Y CERRO TALPETATE UTILIZADOS EN OBRAS HORIZONTALES EN
EL DEPARTAMENTO DE MANAGUA.**

Autores:

BR. ALEXA YAJAIRA MOLINA GADEA

BR. NÉSTOR JOSÉ CANO ARÁUZ

BR. JOHNSTON SALVADOR HURTADO TORRES

Tutor:

ING. ADOLFO ERNESTO CORDERO ANDRADE

MANAGUA, NICARAGUA

Noviembre 25, 2011



Viernes 11 de Noviembre del 2011

Br. Alexa Yajaira Molina Gadea
Br. Néstor José Cano Arauz
Br. Johnston Salvador Hurtado Torres
Sus Manos

Estimados Bachilleres

Por medio de la presente me permito informales que el trabajo monográfico para optar al Título de Ingeniero Civil titulado: Propiedades Físicas y Mecánicas del Material Selecto y Escoria Volcánica (Hormigón) provisto por los frentes de explotación activos en los bancos de Préstamo: San Isidro Libertador, La Veta, Mina Sandino y Cerro Talpetate utilizados en Obras horizontales en el Departamento de Managua; ha sido considerado por medio de la Pre-defensa como un trabajo con los suficientes méritos para su Defensa Final.

Por lo antes expuesto se les notifica que la Defensa Final de su trabajo Monográfico se efectuara el día 25 de Noviembre del 2011 en el aula 1104, del edificio 11, del Recinto Aniversario Rubén Darío de la UNAN-Managua; el Jurado examinador estará compuesto por: MSc. Raúl Madrigal Bravo, Presidente; Ing. Juan Ramón García, Secretario y Ing. Keylin Ninoska Pérez Blandón, Vocal.

Sin más a que referirme me despido de ustedes, deseándoles éxito en sus actividades.

Atentamente,

ING. Francisco Ernesto Cuadra Chevez
Director del Departamento de Construcción
Facultad de Ciencias e Ingenierías UNAN-Managua

Cc: MSc. Hugo Gutiérrez Ocon / Decano.
MSc. Marlon Díaz / Secretario Académico.
Archivo



CONSTANCIA

El suscrito Director del Departamento de Construcción de la facultad de Ciencias e Ingenierías de la UNAN-Managua hace constar que el día 25 de Noviembre del 2011 se llevo a cabo la Defensa Final del trabajo monográfico para optar al Título de Ingeniero Civil titulado: **Propiedades Físicas y Mecánicas del Material Selecto y Escoria Volcánica (Hormigón) provisto por los frentes de explotación activos en los bancos de Préstamo: San Isidro Libertador, La Veta, Mina Sandino y Cerro Talpetate utilizados en Obras horizontales en el Departamento de Managua**; Defendido por los bachilleres Br. Alexa Yajaira Molina Gadea, Br. Néstor José Cano Arauz y Br. Johnston Salvador Hurtado Torres, Tutoriado por el Ing. Adolfo Ernesto Cordero Andrade

La Defensa se realizo en el aula 1104, del edificio 11, del Recinto Universitario Rubén Darío de la UNAN-Mangua, una vez culminado el Acto de Defensa y habiendo sido evaluado por el Jurado Examinador compuesto por: MSc. Raúl Madrigal Bravo, Presidente; Ing. Juan Ramón García, Secretario e Ing. Keilin se les otorgo la siguiente calificación: Br. Alexa Yajaira Molina Gadea 85 (Ochenta y Cinco), Br. Néstor José Cano Arauz 85 (Ochenta Y Cinco) y Br. Johnston Salvador Hurtado Torres 85 (Ochenta y Cinco). El Acta de defensa se encuentra debidamente registrada en el libro Oficial de Actas de la Facultad de Ciencias e Ingenierías.

Se extiende la presente a los 28 días del mes de Noviembre del 2011

ING. Francisco Ernesto Cuadra Chevez
Director del Departamento de Construcción
Facultad de Ciencias e Ingenierías UNAN-Managua

Cc: MSc. Hugo Gutiérrez Ocon / Decano.
MSc. Marlon Díaz / Secretario Académico.
Archivo

Miércoles 09 de Noviembre del 2011

Ing. Francisco Ernesto Cuadra Chevez
Director del Departamento de Construcción
Facultad de Ciencias e Ingenierías
UNAN-Managua

Apreciado Ingeniero.

Por medio de la presente me permito informarle que a mi juicio los bachilleres: Br. Alexa Yajaira Molina Gadea, Br. Néstor José Cano Arauz y Br. Johnston Salvador Hurtado Torres, ya se encuentran preparados para realizar su Defensa Final después de haber realizado las correcciones que se consideraron pertinentes por parte del Jurado Examinador en la Pre-Defensa, por tanto e orientado a los bachilleres que presenten el borrador final del trabajo en los próximos días con la finalidad de que pueda ser distribuido al Jurado Examinador y de esta forma establecer el día que considere a bien para realizar la Defensa Final del Trabajo titulado: Propiedades Físicas y Mecánicas del Material Selecto y Escoria Volcánica (Hormigón) provisto por los frentes de explotación activos en los bancos de Préstamo: San Isidro Libertador, La Veta, Mina Sandino y Cerro Talpetate utilizados en Obras horizontales en el Departamento de Managua.

Sin más a que referirme me despido de usted.

Ing. Adolfo Ernesto Cordero Andrade
Tutor Asignado UNAN-Managua

AGRADECIMIENTOS

Gracias a Dios y a nuestro Señor Jesucristo por darnos las capacidades y el entendimiento, permitiéndonos lograr culminar exitosamente la presente Monografía y nuestra carrera como Ingenieros Civiles.

Le damos las gracias a nuestros padres, quienes nos han apoyado incondicionalmente en todo cuanto hemos requerido para nuestra formación profesional y en el desarrollo de nuestra valiosa investigación.

A nuestro Tutor, Maestro, Amigo y Pastor Ing. Adolfo Cordero quien nos ayudo y oriento con sus conocimientos y vasta experiencia.

A nuestro Maestro y Jefe del departamento Ing. Ernesto Cuadra, por colaborar con nosotros cuando más lo necesitábamos.

A todo el personal técnico de laboratorio que labora en la empresa de Ingeniería de Materiales y Suelos (IMS) y a su jefe de laboratorio Marcos Bermúdez; quienes desinteresadamente nos colaboraron con el desarrollo de nuestra investigación.

Brs: Néstor Cano, Alexa Molina, Johnston Hurtado

ÍNDICE GENERAL

Nº Páginas

CAPITULO I: GENERALIDADES	22
1.1 Introducción	22
1.2 Antecedentes.....	24
1.3 Justificación	26
1.4 Objetivos del Estudio	28
1.4.1 Objetivo General	28
1.4.2 Objetivos Específicos.....	28
1.5 Desarrollo del Proceso Investigativo	29
1.5.1 Etapa de Recolección de Muestras	29
1.5.2 Etapa de Ensayes de Laboratorio.....	30
1.5.3 Etapa de Obtención y Análisis de Resultados	32
CAPÍTULO II: MARCO REFERENCIAL	34
2.1 Marco Normativo	34
2.2 Objetivos y Características de las Clasificaciones de los Suelos	36
2.2.1 Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (S.U.C.S.), para fines Ingenieriles.....	37
2.2.2 Clasificación A.A.S.H.T.O.	40
2.2.3 Especificaciones Técnicas de Materiales para Carreteras.	42
2.3 Particularidades y Definiciones.....	45
2.3.1 Características de los Suelos	46
2.3.2 Bancos de Materiales de Préstamo	51
2.4 Generalidades de los Materiales de Bancos Estudiados.....	65
2.4.1 Escoria Volcánica	66
2.4.2 Material Selecto	69

CAPÍTULO III: ENSAYES DE LABORATORIO PARA EVALUACIÓN DE BANCOS.....70

3.1 Análisis Granulométrico del Suelo (Método Mecánico: ASTM D 421 - 58, D 422 - 63; AASHTO T 27 - 88, T 87 - 70, T 88 - 70)70

3.2 Pesos Volumétricos o Pesos Unitarios (ASTM C - 29; AASHTO T - 19)..75

3.3 Gravedad Específica (ASTM D - 558, D 854 - 58; AASHTO T 93 - 86, T 100 - 70).....78

3.4 Límites de Atterberg (AASHTO T 89 - 68, T 90 - 70; ASTM 423 - 66, D 424 - 59)...82

3.5 Ensaye “Proctor Estándar” (AASHTO T - 180, T 99 - 90, T 99 - 70; ASTM D 698, O - 70).....87

3.6 Ensaye “Proctor Modificado” (ASTM D 1557 - 91, O - 70; AASHTO T 180 - 90, O - 90)93

3.7 Relación de Carga California (CBR) (ASTM D - 1883, ASTM D 1883 - 73, AASHTO T 193 - 63)97

3.8 Determinación del Contenido de Humedad (ASTM D 2216 -71; Parte 19).....102

3.9 Fórmulas Utilizadas por Ensaye Realizado104

CAPITULO IV: Banco SAN ISIDRO LIBERTADOR110

4.1 Análisis Granulométrico y Pesos Volumétricos113

4.2 Límites de Atterberg119

4.3 Gravedad Específica120

4.4 Ensayes de Compactación122

 4.4.1 Proctor Estándar122

 4.4.2 Proctor Modificado125

4.5 Relación de Carga California (CBR)129

CAPÍTULO V: Banco LA VETA	144
5.1 Selecto Gris Oscuro	146
5.1.1 Análisis Granulométrico y Pesos Volumétricos.....	147
5.1.2 Límites de Atterberg	151
5.1.3 Gravedad Específica.....	152
5.1.4 Ensayes de Compactación	154
5.1.4.1 Proctor Estándar.....	154
5.1.4.2 Proctor Modificado.....	156
5.1.5 Relación de Carga California (CBR)	159
5.2 Selecto Gris Claro	174
5.2.1 Análisis Granulométrico y Pesos Volumétricos	175
5.2.2 Límites de Atterberg	179
5.2.3 Gravedad Específica	180
5.2.4 Ensayes de Compactación	182
5.2.4.1 Proctor Estándar	182
5.2.4.2 Proctor Modificado.....	184
5.2.5 Relación de Carga California (CBR).....	187
CAPÍTULO VI: Banco SANDINO	202
6.1 Análisis Granulométrico y Pesos Volumétricos	204
6.2 Límites de Atterberg	206
6.3 Gravedad Específica	206
6.4 Ensayes de Compactación	207
6.4.1 Proctor Estándar	207
6.4.2 Proctor Modificado	209
6.5 Relación de Carga California (CBR).....	212

CAPÍTULO VII: Banco CERRO TALPETATE	227
7.1 Hormigón Mixto	229
7.1.1 Análisis Granulométrico y Pesos Unitarios	230
7.1.2 Gravedad Específica.....	232
7.2 Hormigón Negro	233
7.2.1 Análisis Granulométrico y Pesos Unitarios	234
7.2.2 Gravedad Específica	236
CAPÍTULO VIII: MEZCLAS	237
Introducción	238
8.1 40 % Selecto – 60 % Hormigón	239
8.1.1 Análisis Granulométrico y Pesos Volumétricos.....	240
8.1.2 Límites de Atterberg	242
8.1.3 Gravedad Específica.....	242
8.1.4 Ensaye de Compactación	243
8.1.4.1 Proctor Modificado.....	243
8.1.5 Relación de Carga California (CBR)	245
8.2 60 % Selecto – 40 % Hormigón	253
8.2.1 Análisis Granulométrico y Pesos Volumétricos	254
8.2.2 Límites de Atterberg	256
8.2.3 Gravedad Específica	256
8.2.4 Ensaye de Compactación.....	257
8.2.4.1 Proctor Modificado.....	257
8.2.5 Relación de Carga California (CBR).....	259
CAPÍTULO IX: ANÁLISIS DE RESULTADOS	267
9.1 Banco San Isidro Libertador	269
9.2 Banco La Veta Internacional.....	273

9.2.1	Material Gris Oscuro.....	273
9.2.2	Material Gris Claro.....	277
9.3	Banco Sandino.....	280
9.4	Banco Cerro Talpetate.....	284
9.5	Mezclas.....	286
9.5.1	40 % Selecto – 60 % Hormigón.....	286
9.5.2	60 % Selecto – 40 % Hormigón.....	289
CAPÍTULO X: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		293
10.1	Conclusiones.....	294
10.1.1	En cuanto a los Criterios de Localización y Explotación:.....	294
10.1.2	En cuanto a sus Propiedades Físicas:.....	294
10.1.3	En cuanto a las Propiedades Mecánicas:.....	296
10.1.4	En cuanto a la Calidad de los Materiales para su uso Ingenieril:.....	297
10.1.5	En cuanto al Documento de Consulta y Referencia:.....	299
10.2	Recomendaciones.....	300
BIBLIOGRAFÍA.....		301
GLOSARIO.....		302
ANEXO.....		308

Índice de Tablas

Nº Páginas

Tabla I.1 Ensayes Generales Realizados en el Laboratorio de Suelo.....	30
Tabla II.1 Designación y significado por letra del Sistema S.U.C.S.	38
Tabla II.2 Sistema Unificado de Clasificación de Suelos bajo el punto de Vista de la Ingeniería.....	39
Tabla II.3 Sistema de Clasificación A.A.S.H.T.O.....	41
Tabla II.4 Especificaciones ASTM D-1241 (Material para Base).....	42
Tabla II.5 Especificaciones ASTM D-1241 (Material para Revestimiento de Caminos)	43
Tabla II.6 Especificación NIC – 2000 (Material para Sub-base).....	43
Tabla II.7 Granulometría Recomendada para Revestimiento de Caminos [Laboratorio (IMS)].....	44
Tabla II.8 Requerimiento de Compactación [Laboratorio (IMS)]	44
Tabla II.9 *Clasificación de suelos para estructura de pavimentos.	45
Tabla II.10 *Clasificación de la sub-rasante.	45
Tabla II.11 Coeficientes de Abundamiento y Enjuntamiento para diferentes suelos.	48
Tabla III.1 Ubicación de los Bancos a muestrear y clasificación del material de explotación.....	70
Tabla III.2 Tamaño de las aberturas de los Tamices Normalizados.....	73
Tabla III.3 Proporciones de densidad, los cuales dependen del tipo de material presentes en el medio.	79
Tabla III.4 Descripción de Ensayes Proctor para Compactación.	90
Tabla III.5 Especificaciones para el Ensaye Proctor Estándar (basadas en la norma 698-91 de la ASTM).	90
Tabla III.6 Determinación del peso para las muestras en base a los métodos descritos en la Tabla III.5.....	91
Tabla III.7 Especificaciones para el Ensaye Proctor Modificado (basadas en la Norma 1557-91 de la ASTM).....	94
Tabla III.8 Valores de Carga Unitaria Patrón que deben utilizarse en la ecuación para el cálculo del CBR.....	99

Tabla IV.1 Resultados Obtenidos de Ensaye Granulométrico.	114
Tabla IV.2 Resultados Obtenidos de Ensaye Granulométrico.	116
Tabla IV.3 Resultados Obtenidos de Ensaye Granulométrico.	118
Tabla IV.4 Resultados Finales de los Análisis Granulométricos y Pesos Volumétricos.	119
Tabla IV.5 Determinación de Límites de Consistencia.	119
Tabla IV.6 Resultados Obtenidos de Ensayes de Gravedad Específica.	121
Tabla IV.7 Resultados Obtenidos de Pruebas de Compactación.	128
Tabla IV.8 Propiedades Volumétricas y Gravimétricas del Material Selecto Compactado	128
Tabla IV.9 Valores de Resistencia a la Penetración (Datos sin Corregir)	131
Tabla IV.10 Resultados Prueba de CBR (CBR Estándar).	134
Tabla IV.11 Valores de Resistencia a la Penetración (Datos sin Corregir)	137
Tabla IV.12 Resultados Prueba de CBR (CBR Modificado)	140
Tabla IV.13 Valores de CBR para los diferentes Porcentajes de Compactación.	141
Tabla IV.14 Informe de Ensayes de Suelos (Banco “San Isidro”)	142
Tabla IV.15 Análisis de Resultados para Uso Ingenieril conforme a Normativas y Especificaciones	143
Tabla V.1 Valores Obtenidos de Curva Granulométrica.	148
Tabla V.2 Resultados Obtenidos de Ensaye Granulométrico.	148
Tabla V.3 Valores Obtenidos de Curva Granulométrica.	150
Tabla V.4 Resultados Obtenidos de Ensaye Granulométrico.	150
Tabla V.5 Resultados Finales de los Análisis Granulométricos y Pesos Volumétricos.	151
Tabla V.6 Determinación de Límites de Consistencia.	151
Tabla V.7 Resultados Obtenidos de Ensayes de Gravedad Específica.	153
Tabla V.8 Resultados Obtenidos de Pruebas de Compactación.	158
Tabla V.9 Propiedades Volumétricas y Gravimétricas del Material Selecto Compactado	158
Tabla V.10 Valores de Resistencia a la Penetración (Datos sin Corregir)	161

Tabla V.11 Resultados Prueba de CBR (CBR Estándar).....	164
Tabla V.12 Valores de Resistencia a la Penetración (Datos sin Corregir)	167
Tabla V.13 Resultados Prueba de CBR (CBR Modificado)	170
Tabla V.14 Valores de CBR para los diferentes Porcentajes de Compactación.	171
Tabla V.15 Informe de Ensayes de Suelos (Banco “La Veta” Material Gris Oscuro).....	172
Tabla V.16 Análisis de Resultados para Uso Ingenieril conforme a Normativas y Especificaciones	173
Tabla V.17 Resultados Obtenidos de Ensaye Granulométrico.	176
Tabla V.18 Resultados Obtenidos de Ensaye Granulométrico.	178
Tabla V.19 Resultados Finales de los Análisis Granulométricos y Pesos Volumétricos.....	179
Tabla V.20 Determinación de Límites de Consistencia.....	179
Tabla V.21 Resultados Obtenidos de Ensayes de Gravedad Específica.....	181
Tabla V.22 Resultados Obtenidos de Pruebas de Compactación.....	186
Tabla V.23 Propiedades Volumétricas y Gravimétricas del Material Selecto Compactado.	186
Tabla V.24 Valores de Resistencia a la Penetración (Datos sin Corregir)	189
Tabla V.25 Resultados Prueba de CBR (CBR Estándar).....	192
Tabla V.26 Valores de Resistencia a la Penetración (Datos sin Corregir)	195
Tabla V.27 Resultados Prueba de CBR (CBR Estándar).....	198
Tabla V.28 Valores de CBR para los diferentes Porcentajes de Compactación.	199
Tabla V.29 Informe de Ensayes de Suelos (Banco “La Veta” Material Gris Claro)	200
Tabla V.30 Análisis de Resultados para Uso Ingenieril conforme a Normativas y Especificaciones	201
Tabla VI.1 Resultados Obtenidos de Ensaye Granulométrico.	205
Tabla VI.2 Determinación de Límites de Consistencia.....	206
Tabla VI.3 Resultados Obtenidos de Pruebas de Compactación.....	211
Tabla VI.4 Propiedades Volumétricas y Gravimétricas del Material Selecto Compactado.	211

Tabla VI.5 Valores de Resistencia a la Penetración (Datos sin Corregir).	214
Tabla VI.6 Resultados Prueba de CBR Banco “Sandino” (CBR Estándar)	217
Tabla VI.7 Valores de Resistencia a la Penetración (Datos sin Corregir).	220
Tabla VI.8 Resultados Prueba de CBR (CBR Estándar).....	223
Tabla VI.9 Valores de C.B.R. para los diferentes Porcentajes de Compactación.	224
Tabla VI.10 Informe de Ensayes de Suelo (Banco “Sandino”)	225
Tabla VI.11 Análisis de Resultados para Uso Ingenieril conforme a Normativas y Especificaciones	226
Tabla VII.1 Valores Obtenidos de Curva Granulométrica.....	231
Tabla VII.2 Resultados Obtenidos de Ensaye Granulométrico.	231
Tabla VII.3 Informe de Ensayes de Suelos (Banco “Cerro Talpetate” Hormigón Mixto)	232
Tabla VII.4 Valores Obtenidos de Curva Granulométrica.....	235
Tabla VII.5 Resultados Obtenidos de Ensaye Granulométrico.	235
Tabla VII.6 Informe de Ensayes de Suelos (Banco “Cerro Talpetate” Hormigón Negro)	236
Tabla VIII.1 Valores Obtenidos de Curva Granulométrica.....	241
Tabla VIII.2 Resultados Obtenidos de Ensaye Granulométrico.	241
Tabla VIII.3 Determinación de Límites de Consistencia.	242
Tabla VIII.4 Resultados Obtenidos de Pruebas de Compactación.....	244
Tabla VIII.5 Propiedades Volumétricas y Gravimétricas de la Mezcla Compactada.	244
Tabla VIII.6 Valores de Resistencia a la Penetración (Datos sin Corregir)	247
Tabla VIII.7 Resultados Prueba de CBR (CBR Modificado)	250
Tabla VIII.8 Valores de CBR para los diferentes Porcentajes de Compactación.	251
Tabla VIII.9 Informe de Ensayes de Suelos (60 % Hormigón – 40 % Selecto) .	251
Tabla VIII.10 Análisis de Resultados para Uso Ingenieril conforme a Normativas y Especificaciones	252
Tabla VIII.11 Valores Obtenidos de Curva Granulométrica.....	255

Tabla VIII.12 Resultados Obtenidos de Ensaye Granulométrico.	255
Tabla VIII.13 Determinación de Límites de Consistencia.	256
Tabla VIII.14 Resultados Obtenidos de Pruebas de Compactación.....	258
Tabla VIII.15 Propiedades Volumétricas y Gravimétricas de la Mezcla Compactada.	258
Tabla VIII.16 Valores de Resistencia a la Penetración (Datos sin Corregir)	261
Tabla VIII.17 Resultados Prueba de CBR (CBR Modificado).....	264
Tabla VIII.18 Valores de CBR para los diferentes Porcentajes de Compactación.	265
Tabla VIII.19 Informe de Ensayes de Suelos (60 % Selecto – 40 % Hormigón)	265
Tabla VIII.20 Análisis de Resultados para Uso Ingenieril conforme a Normativas y Especificaciones	266

Índice de Gráficas	Nº Páginas
Gráfica IV.1 Representación Granulométrica de los porcentajes que pasan por los tamices con aberturas de diámetros variados, para la Muestra 1.	114
Gráfica IV.2 Representación Granulométrica de los porcentajes que pasan por los tamices con aberturas de diámetros variados, para la Muestra 2.	116
Gráfica IV.3 Representación Granulométrica de los porcentajes que pasan por los tamices con aberturas de diámetros variados, para la Muestra 3.	118
Gráfica IV.4 Líneas de Tendencias para obtener $\delta_{m\acute{a}x.}$ y $H_{opt.}$	122
Gráfica IV.5 Líneas de Tendencias para obtener $\delta_{m\acute{a}x.}$ y $H_{opt.}$	123
Gráfica IV.6 Líneas de Tendencias para obtener $\delta_{m\acute{a}x.}$ y $H_{opt.}$	124
Gráfica IV.7 Líneas de Tendencias para obtener $\delta_{m\acute{a}x.}$ y $H_{opt.}$	125
Gráfica IV.8 Líneas de Tendencias para obtener $\delta_{m\acute{a}x.}$ y $H_{opt.}$	126
Gráfica IV.9 Líneas de Tendencias para obtener $\delta_{m\acute{a}x.}$ y $H_{opt.}$	127
Gráfica IV.10 Comportamiento de Esfuerzo Vs Deformación a distintos números de Golpes.	131
Gráfica IV.11 Corrección del Comportamiento de Esfuerzo Vs Deformación a 16 Golpes.	132
Gráfica IV.12 Corrección del Comportamiento de Esfuerzo Vs Deformación a 36 Golpes.	132
Gráfica IV.13 Corrección del Comportamiento de Esfuerzo Vs Deformación a 71 Golpes.	133
Gráfica IV.14 Comportamiento de Esfuerzo Vs Deformación Corregido.	133
Gráfica IV.15 Obtención de Valores de CBR para distintos % de Compactación.	134
Gráfica IV.16 Comportamiento de Esfuerzo Vs Deformación a distintos números de Golpes.	137

Gráfica IV.17 Corrección del Comportamiento de Esfuerzo Vs Deformación a 16 Golpes.....	138
Gráfica IV.18 Corrección del Comportamiento de Esfuerzo Vs Deformación a 36 Golpes.	138
Gráfica IV.19 Corrección del Comportamiento de Esfuerzo Vs Deformación a 71 Golpes.	139
Gráfica IV.20 Comportamiento de Esfuerzo Vs Deformación Corregido.	139
Gráfica IV.21 Obtención de Valores de CBR para distintos % de Compactación.	140
Gráfica V.1 Representación Granulométrica de los porcentajes que pasan por los tamices con aberturas de diámetros variados, para la Muestra 1.	148
Gráfica V.2 Representación Granulométrica de los porcentajes que pasan por los tamices con aberturas de diámetros variados, para la Muestra 2.	150
Gráfica V.3 Líneas de Tendencias para obtener $\delta_{m\acute{a}x}$. y H_{opt}	154
Gráfica V.4 Líneas de Tendencias para obtener $\delta_{m\acute{a}x}$. y H_{opt}	155
Gráfica V.5 Líneas de Tendencias para obtener $\delta_{m\acute{a}x}$. y H_{opt}	156
Gráfica V.6 Líneas de Tendencias para obtener $\delta_{m\acute{a}x}$. y H_{opt}	157
Gráfica V.7 Comportamiento de Esfuerzo Vs Deformación a distintos números de Golpes.	161
Gráfica V.8 Corrección del Comportamiento de Esfuerzo Vs Deformación a 16 Golpes.	162
Gráfica V.9 Corrección del Comportamiento de Esfuerzo Vs Deformación a 36 Golpes.	162
Gráfica V.10 Corrección del Comportamiento de Esfuerzo Vs Deformación a 71 Golpes.	163
Gráfica V.11 Comportamiento de Esfuerzo Vs Deformación Corregido.	163
Gráfica V.12 Obtención de Valores de CBR para distintos % de Compactación.	164
Gráfica V.13 Comportamiento de Esfuerzo Vs Deformación a distintos números de Golpes.	167

Gráfica V.14 Corrección del Comportamiento de Esfuerzo Vs Deformación a 16 Golpes.....	168
Gráfica V.15 Corrección del Comportamiento de Esfuerzo Vs Deformación a 36 Golpes.	168
Gráfica V.16 Corrección del Comportamiento de Esfuerzo Vs Deformación a 71 Golpes.	169
Gráfica V.17 Comportamiento de Esfuerzo Vs Deformación Corregido.	169
Gráfica V.18 Obtención de Valores de CBR para distintos % de Compactación.	170
Gráfica V.19 Representación Granulométrica de los porcentajes que pasan por los tamices con aberturas de diámetros variados, para la Muestra 1.	176
Gráfica V.20 Representación Granulométrica de los porcentajes que pasan por los tamices con aberturas de diámetros variados, para la Muestra 2.	178
Gráfica V.21 Líneas de Tendencias para obtener $\bar{\delta}_{m\acute{a}x.}$ y H_{opt}	182
Gráfica V.22 Líneas de tendencia para obtener $\bar{\delta}_{m\acute{a}x.}$ y H_{opt}	183
Gráfica V.23 Líneas de Tendencias para obtener $\bar{\delta}_{m\acute{a}x.}$ y H_{opt}	184
Gráfica V.24 Líneas de Tendencias para obtener $\bar{\delta}_{m\acute{a}x.}$ y H_{opt}	185
Gráfica V.25 Comportamiento de Esfuerzo Vs Deformación a distintos números de Golpes	189
Gráfica V.26 Corrección del Comportamiento de Esfuerzo Vs Deformación a 16 Golpes.	190
Gráfica V.27 Corrección del Comportamiento de Esfuerzo Vs Deformación a 36 Golpes.	190
Gráfica V.28 Corrección del Comportamiento de Esfuerzo Vs Deformación a 71 Golpes.	191
Gráfica V.29 Comportamiento de Esfuerzo Vs Deformación Corregido.	191
Gráfica V.30 Obtención de Valores de CBR para distintos % de Compactación.	192
Gráfica V.31 Comportamiento de Esfuerzo Vs Deformación a distintos números de Golpes	195

Gráfica VI.1 Representación Granulométrica de los porcentajes que pasan por los tamices con aberturas de diámetros variados.	205
Gráfica VI.2 Líneas de Tendencia para obtener $\delta_{m\acute{a}x.}$ y $H_{opt.}$	207
Gráfica VI.3 Líneas de Tendencia para obtener $\delta_{m\acute{a}x.}$ y $H_{opt.}$	208
Gráfica VI.4 Líneas de Tendencia para obtener $\delta_{m\acute{a}x.}$ y $H_{opt.}$	209
Gráfica VI.5 Líneas de Tendencias para obtener $\delta_{m\acute{a}x.}$ y $H_{opt.}$	210
Gráfica VI.6 Comportamiento de Esfuerzo Vs Deformación a distintos números de Golpes.	214
Gráfica VI.7 Corrección del Comportamiento de Esfuerzo Vs Deformación a 16 Golpes.	215
Gráfica VI.8 Corrección del Comportamiento de Esfuerzo Vs Deformación a 36 Golpes.	216
Gráfica VI.9 Corrección del Comportamiento de Esfuerzo Vs Deformación a 71 Golpes.	216
Gráfica VI.10 Comportamiento de Esfuerzo Vs Deformación Corregido.	217
Gráfica VI.11 Obtención de Valores de CBR para distintos % de Compactación.	218
Gráfica VI.12 Comportamiento de Esfuerzo Vs Deformación a distintos números de Golpes.	221
Gráfica VI.13 Corrección del Comportamiento de Esfuerzo Vs Deformación a 16 Golpes.	222
Gráfica VI.14 Corrección del Comportamiento de Esfuerzo Vs Deformación a 36 Golpes.	222
Gráfica VI.15 Corrección del Comportamiento de Esfuerzo Vs Deformación a 71 Golpes.	222
Gráfica VI.16 Comportamiento de Esfuerzo Vs Deformación Corregido.	223
Gráfica VII.1 Representación Granulométrica de los porcentajes que pasan por los tamices con aberturas de diámetros variados.	231
Gráfica VII.2 Representación Granulométrica de los porcentajes que pasan por los tamices con aberturas de diámetros variados.	235

Gráfica VIII.1 Representación Granulométrica de los porcentajes que pasan por los tamices con aberturas de diámetros variados.....	241
Gráfica VIII.2 Líneas de Tendencias para obtener $\delta_{m\acute{a}x.}$ y $H_{opt.}$	243
Gráfica VIII.3 Comportamiento de Esfuerzo Vs Deformación a distintos números de Golpes.	247
Gráfica VIII.4 Corrección del Comportamiento de Esfuerzo Vs Deformación a 16 Golpes.	248
Gráfica VIII.5 Corrección del Comportamiento de Esfuerzo Vs Deformación a 36 Golpes.	248
Gráfica VIII.6 Corrección del Comportamiento de Esfuerzo Vs Deformación a 71 Golpes.	249
Gráfica VIII.7 Comportamiento de Esfuerzo Vs Deformación Corregido.	249
Gráfica VIII.8 Obtención de Valores de CBR para distintos % de Compactación.	250
Gráfica VIII.9 Representación Granulométrica de los porcentajes que pasan por los tamices con aberturas de diámetros variados.....	255
Gráfica VIII.10 Líneas de Tendencias para obtener $\delta_{m\acute{a}x.}$ y $H_{opt.}$	257
Gráfica VIII.11 Comportamiento de Esfuerzo Vs Deformación a distintos números de Golpes.	261
Gráfica VIII.12 Corrección del Comportamiento de Esfuerzo Vs Deformación a 16 Golpes.	262
Gráfica VIII.13 Corrección del Comportamiento de Esfuerzo Vs Deformación a 36 Golpes.	262
Gráfica VIII.14 Corrección del Comportamiento de Esfuerzo Vs Deformación a 16 Golpes.	263
Gráfica VIII.15 Comportamiento de Esfuerzo Vs Deformación Corregido.	263
Gráfica VIII.16 Obtención de Valores de CBR para distintos % de Compactación.	264

CAPÍTULO I: GENERALIDADES

1.1 Introducción

Es preciso para el país contar con un banco de datos, del cual tanto las Empresas dedicadas a la construcción de carreteras; así como también las Instituciones que controlan esta actividad, puedan tomar datos referenciales de la calidad de materiales existentes en sus distintas regiones. La implementación de investigaciones orientadas a lograr lo anterior; es sin duda un avance en el área de la construcción de carreteras en Nicaragua, tomando en consideración que la vida útil de las carreteras de nuestro país depende fundamentalmente de la calidad de los materiales con los que se realizan estos proyectos.

Considerando que en Nicaragua por razones ambientales y económicas, se impone cada vez más la necesidad de utilizar preferentemente los materiales locales, así como de aprovecharlos al máximo, sean cuales fueren sus características, aunque no satisfagan todas las especificaciones para la construcción de determinada obra civil llámese a ésta: edificio corporativo, complejo industrial, vías de comunicación, con estudios especiales y recurriendo en su caso a ciertos tratamientos cabe la posibilidad de emplear estos materiales. Debido a esto en el presente documento se realiza un análisis de las propiedades físico-mecánicas de los materiales encontrados en los bancos San Isidro Libertador, La Veta, Mina Sandino y Cerro Talpetate; ubicados en los alrededores de la Ciudad de Managua, utilizados como fuente de préstamo para la construcción, adaptándolos a las condiciones realmente existentes y preocupándonos de que el producto final tenga una calidad suficiente, para que la obra llegue a tener su correcta funcionalidad.

Se analizarán bancos de material selecto, así como también escoria volcánica; a los cuales se les practicarán pruebas de laboratorio con el fin de establecer sus características, las cuales nos brindaran las condiciones y restricciones que pueden tener en el terreno. Los resultados obtenidos se evaluarán con las normas internacionales establecidas y se determinará de esta manera si el suelo con que

cuentan estos bancos puede ser útil para la construcción de una obra. Resultando así estrechamente ligados las dos importantes actividades, el muestreo de los suelos y la realización de las pruebas necesarias de laboratorio. El muestreo debe estar regido ya anticipadamente por los requerimientos impuestos a las muestras obtenidas por el programa de pruebas de laboratorio y, a su vez, el programa de pruebas debe estar definido en términos de la naturaleza de los problemas que se suponga puedan resultar del suelo presente en cada obra, el cual no puede conocerse sin efectuar previamente el correspondiente muestreo.

Con la ubicación y estudio de estos bancos de materiales, se creará un documento que servirá de consulta a empresas o entidades constructoras; a fin de hacer uso de ella cuando se desarrollen proyectos de obras civiles en los lugares que lo requieran siempre y cuando les resulte factible, dado que los bancos elegidos son aquellos que poseen mayor demanda de material. Así mismo en este trabajo se incluyen mapas de ubicación geográfica de los bancos de materiales que se estudian.

1.2 Antecedentes

El desarrollo de un país está altamente determinado por la calidad de sus vías de acceso, y la duración de las mismas depende en gran parte de la calidad de los materiales empleados, pero fundamentalmente de la resistencia y demás propiedades del terreno donde se asientan.

Antes del desarrollo de la mecánica aplicada, todos los problemas de la ingeniería civil se resolvían por tanteos, apostando a la experiencia de maestros de obra e ingenieros, lo cual representaba grandes riesgos económicos así como también ponía en tela de juicio la seguridad de la obra planificada.

No obstante, ahora es posible predecir el comportamiento de las estructuras, en base a las propiedades particulares de los materiales empleados. Ejemplo fiel de ello son el acero y el concreto para los cuales se estipularon normas de fabricación que garantizan ciertas cualidades, permitiendo así una aproximación de sus comportamientos.

En Nicaragua existen varios sitios donde se extraen materiales para la construcción (agregados y material selecto), pero la mayoría carecen de requerimientos de explotación e incluso son ilegales. Actualmente en el país ningún ente Gubernamental ni privado, se ha dado a la tarea de realizar una investigación técnica y profunda de las características que deben cumplir los bancos de material selecto, para el diseño y ejecución de una obra, siendo necesario conocer la aplicación que se le puede dar al suelo existente en dicho banco, así como también si el material cumple con los requerimientos para su explotación.

Los Ingenieros tienen conocimientos valiosos respecto a las características y comportamientos de los Materiales Selectos utilizados en carreteras, pero no de las propiedades Físicas y Mecánicas específicas de cada tipo de suelo existente en un Banco de Material de Préstamo sea éste de Material Selecto u Hormigón, los cuales se pueden encontrar en diferentes zonas de nuestro país.

Los estudios algunas veces realizados a estos materiales generalmente los ejecutan empresas privadas que construyen en lugares donde se presentan estos materiales, sin embargo, dado el costo que presentan dichos estudios, las empresas no autorizan su divulgación con el fin de realizar investigaciones como la nuestra.

Las investigaciones Monográficas que se encuentran en las Bibliotecas de la UNAN no orientan estudios relacionados al enfoque de esta investigación solamente en la UNI se cuenta con una Monografía realizada en el año 2004 por los Ingenieros Jonathan Gutiérrez y Adolfo Cordero basada en las Propiedades Físicas y Mecánicas de la Arcilla Negra (Sonsocuite); la cual hemos tomado como una referencia de consulta con el objeto de orientarnos.

Cabe destacar que algunas entidades visitadas recientemente como la Alcaldía de Managua, el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARENA), Ministerio de Energía y Minas (MEM), y algunas universidades que imparten la carrera de Ingeniería Civil no nos proporcionaron ningún tipo de información ni escrita ni oral ya que según estos no cuentan en sus archivos con información referente a las características de los materiales de préstamos o algún otro documento relacionado a estos tipos de materiales.

1.3 Justificación

En los últimos años la calidad de construcción de las obras civiles, llámese a estas carreteras, terrazas de obras verticales, etc., se ha deteriorado sustancialmente; en unos casos por el incremento del valor de la materia prima y otros materiales relacionados directamente a la construcción, también porque los materiales selectos utilizados en la construcción de las mismas son de mala calidad, sin mencionar la falta de supervisión durante el proceso de construcción en donde lo importante solo ha sido –en muchos casos- lo relativo a los desembolsos y no a la calidad de los materiales y la obra en sí, sumado a eso la dispersión de instituciones públicas y privadas que diseñan, construyen y supervisan los diferentes procesos de construcción.

Durante mucho tiempo los pavimentos, probablemente han sufrido gran deterioro, debido entre otros factores a no haber tomado en cuenta la capacidad del pavimento para soportar las cargas esperadas, haciéndose evidente el análisis inadecuado de la estructura del pavimento, además no se han estimado las tasas reales de crecimiento, la mala calidad de los bancos de material selecto utilizado, falta de mantenimiento, malos diseños de mezcla asfáltica, malos procesos constructivos.

La carencia de conocimiento del subsuelo ha producido en numerosos casos fallas importantes en estructuras, aumento en los costos de construcción e incluso pérdidas de vidas humanas; siendo frecuentes problemas asociados a empujes, asentamientos, baja capacidad soporte que pudieran detectarse a priori con el conocimiento del comportamiento y propiedades de los materiales procedentes de los bancos de préstamos.

Todas las estructuras de ingeniería civil y particularmente las obras viales deben apoyarse sobre la superficie del terreno natural, razón por la cual las capas de pavimento deben estar conformadas de los materiales que cumplan satisfactoriamente los estándares de calidad para conseguir el idóneo funcionamiento de la estructura.

Lo antes descrito nos motiva a investigar concretamente las propiedades físicas y mecánicas del Material Selecto y la Escoria Volcánica, ya que la demanda y el uso que están teniendo estos materiales es cada vez mayor en el sector constructivo. La información nos proveerá criterios para lograr cimentaciones seguras, confiables, económicas y duraderas, así como reducción de probables asentamientos y estructuras ingenieriles más estables.

Por lo tanto se considera una labor urgente y necesaria centralizar de alguna manera toda la información concerniente que día a día surge sobre materiales utilizables, localización, volúmenes aprovechables, tratamientos, etc.; de manera que una vez realizada la obra toda ésta información no se pierda sino que sirva de material de apoyo a los próximos ingenieros que vayan a construir y no se enfrenten al problema original de buscar materiales apropiados donde otros ya los habían encontrado.

1.4 Objetivos del Estudio

1.4.1 Objetivo General

- Caracterizar las Propiedades Físicas y Mecánicas del Material Selecto y Escoria Volcánica (Hormigón) provisto por los frentes de explotación activos en los Bancos de Préstamo: San Isidro Libertador, La Veta, Mina Sandino y Cerro Talpetate utilizados en obras horizontales en el Departamento de Managua.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Establecer los criterios técnicos necesarios para la localización y explotación de Bancos de Préstamo.
- Determinar las Propiedades Físicas de Material Selecto y Escoria Volcánica de los bancos en estudio.
- Determinar las Propiedades Mecánicas de Material Selecto y Escoria Volcánica de los bancos en estudio.
- Analizar el comportamiento de estos materiales por medio de los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio.
- Determinar la calidad y uso ingenieril más adecuado de los materiales en obras horizontales que se extraen de los bancos en estudio.
- Elaborar un Documento de consulta y referencia para estudiantes y profesionales de la Ingeniería Civil orientado al Desarrollo de la Investigación sobre las Propiedades Físicas y Mecánicas del Material Selecto y la Escoria Volcánica en Nicaragua.

1.5 Desarrollo del Proceso Investigativo

El desarrollo de la Investigación de acuerdo a la secuencia con que se ejecutó, constó de tres etapas primordiales que se describen a continuación:

1.5.1 Etapa de Recolección de Muestras

En ésta primera etapa se planificó, organizó, programó y ejecutó la obtención de las muestras del Material Selecto y la Escoria Volcánica, que serían estudiadas posteriormente en los laboratorios de Mecánica de Suelos. La ejecución de ésta etapa se llevó a cabo desde el 11 de Febrero al 13 de Mayo y contempla las siguientes actividades:

- **Ubicación de los Sitios de donde se extrajeron las Muestras**

El primer banco que se visitó fue el de San Isidro Libertador, ubicado en la comarca del mismo nombre a kilómetro y medio hacia el sur de la pista suburbana. A continuación nos dirigimos hacia el banco La Veta Internacional donde encontramos depósitos de Material Selecto y Escoria Volcánica, situado en el kilómetro ocho Carretera Nueva a León. Acto seguido visitamos el banco denominado Mina Sandino de Material Selecto dispuesto sobre la pista Ciudad Sandino; y por último llegamos al Cerro El Hormigón, un afloramiento de Escoria Volcánica rojo y negro, situado a dos kilómetros y medio del Empalme a Xiloá. (Ver mapas de ubicación).

- **Extracción de Muestras Representativas**

Debido a que la investigación trata sobre la determinación de propiedades físicas y mecánicas se requirió extraer muestras alteradas en cada muestreo. Las cantidades de cada tipo de ensaye se estimaron considerando el tipo y cantidad de ensayos a realizar en el laboratorio, para la determinación confiable de cada propiedad estudiada, resultando así que en cada sitio se extrajeron muestras alteradas en puntos diferentes, según se consideró necesario en los Bancos de estudio. La extracción de muestras se llevó a cabo por medio del sondeo manual; recolectándose estas en sacos limpios por medio de palas y picos.

1.5.2 Etapa de Ensayes de Laboratorio

En esta etapa se planificó, organizó, programó y ejecutó el trabajo necesario para realizar todos los ensayos pertinentes en la determinación de cada uno de las propiedades estudiadas. La etapa de ensayos de laboratorio fue ejecutada en el periodo comprendido entre el 11 de febrero al 18 de junio del año 2011 y contempla las siguientes actividades:

- Preparación de las Muestras

Las muestras extraídas se almacenaron cuidadosamente en sacos y fueron trasladadas a una bodega ubicada dentro del laboratorio; siendo necesario, en algunos casos, tender al sol sobre un plástico y charolas las muestras húmedas para llevar a cabo los ensayos propuestos para el estudio. Las muestras alteradas fueron procesadas según el requerimiento de cada tipo de ensayo a realizar, el procedimiento de preparación se describirá posteriormente en los próximos capítulos.

- Tipos y Cantidades de Ensayes Realizados

Para poder determinar de forma confiable cada uno de las características de la Escoria Volcánica y Material Selecto extraídos en cada uno de los sondeos manuales fue necesario realizar un número determinado de ensayos de laboratorio:

Tabla I.1 Ensayes Generales Realizados en el Laboratorio de Suelo.

Nombre del Ensaye	Material Selecto	Escoria Volcánica (Hormigón)	Mezcla	Total
Análisis Granulométrico	8	2	2	12
Pesos Volumétricos Seco Suelto y Seco Compacto	36	12	12	60
Límites de Atterberg	9	0	0	9
Gravedad Específica	12	4	4	20
Proctor Estándar	9	0	0	9
Proctor Modificado	9	0	2	11
Relación de Soporte de California (CBR)	8	0	2	10

- **Procedimiento Empleado para Realizar cada Tipo de Ensaye**

Los procedimientos de laboratorio utilizados en la determinación de cada propiedad son las especificaciones y normas establecidas por: la Sociedad Americana para Ensayes y Materiales (American Society for Testing and Materials, ASTM). Es importante señalar que se tomaron en cuenta algunas recomendaciones de otras fuentes con la finalidad de lograr resultados precisos y confiables, entre ellas tenemos: Asociación Americana de Agencias Federales de Carreteras y Transporte (American Association of State Highway and Transportation, AASHTO), El Manual de Laboratorio de Suelos de Ingeniería Civil del Autor Joseph Bowler (1981), así mismo utilizamos las técnicas y procedimientos establecidos por el laboratorio Ingeniería de Materiales y Suelos (IMS), como también de base las experiencias del Señor Marcos Bermúdez responsable del laboratorio. Los procedimientos correspondientes a cada ensayo realizado y sus referencias se encuentran descritos y detallados en los capítulos subsiguientes.

- **Realización de los Ensayes de Mecánica de Suelos**

Los ensayos se realizaron en el laboratorio de Ingeniería de Materiales y Suelos (IMS), ubicado en la entrada al Reparto Los Arcos; donde contamos con la ayuda del responsable del laboratorio el Señor Marcos Bermúdez, así como de cada uno de los técnicos que nos apoyaron en los momentos en los cuales se nos presentó alguna dificultad.

Antes de realizar los ensayos se diseñaron todos los formatos necesarios para llevar a cabo los mismos de una forma ordenada y congruente, permitiendo con esto el registro completo de los datos de laboratorio necesarios para la determinación y evaluación de las propiedades investigadas. Todos los aparatos y equipos fueron cuidadosamente limpiados, revisados y calibrados para lograr resultados satisfactorios. Los ensayos se realizaron siguiendo la programación estipulada una vez que se comprobó se contaba con todos los equipos y elementos necesarios para la ejecución precisa de los mismos. Es importante

señalar que en alguno de los ensayos, se efectuaron cálculos de gabinete de forma paralela con la aplicación de los procedimientos en la ejecución de los mismos, verificando así la congruencia de los datos obtenidos, dichos procedimientos de cálculos resultaron ser rápidos y fáciles de realizar.

1.5.3 Etapa de Obtención y Análisis de Resultados

En esta etapa se planifico, organizó, programo y ejecuto el trabajo de gabinete adecuado a fin de obtener los valores representativos de las propiedades físico-mecánicas estudiadas; así como también la correlación de datos y la interpretación cualitativa de los resultados obtenidos de la etapa anterior. Esta etapa resulto ser de fundamental importancia, ya que en la misma se tomó la información necesaria para elaborar las conclusiones finales del trabajo investigativo. Esta etapa estuvo comprendida entre el 28 de junio y el 28 de septiembre del presente año y abarcó las siguientes actividades:

- Obtención de Resultados

Referida a los procedimientos de cálculo correspondientes a cada tipo de ensayo realizado con el fin de obtener resultados cuantitativos de las propiedades en estudio, así como los resultados obtenidos de los ensayos.

- Análisis de los Resultados

Se analizaron los resultados representativos de las propiedades de los materiales; realizando una discusión y correlación de las propiedades presentadas por el suelo en estudio, Para luego realizar las conclusiones y recomendaciones de nuestro trabajo investigativo.

- Elaboración del Documento Final

Esta actividad consistió en organizar toda la información obtenida a lo largo del desarrollo de la investigación con el fin de elaborar el documento final. Esta queda subdividida en capítulos basados en cada unidad quedando estructurado así:

- Generalidades.
- Marco Referencial.
- Ensayes de Laboratorio para Evaluación de Material de Bancos.
- Banco San Isidro Libertador.
- Banco La Veta
- Banco Sandino
- Banco El Hormigón
- Mezcla de Material del Banco San Isidro Libertador y Banco El Hormigón.
- Análisis de Resultados.
- Conclusiones y Recomendaciones.

CAPÍTULO II: MARCO REFERENCIAL

2.1 Marco Normativo

Este se puede definir como el conjunto o grupo de especificaciones técnicas establecidas para controlar la calidad de los materiales, regulando los parámetros y procedimientos de ensayos de sus propiedades y la función que han de realizar en la obra.

Los materiales no controlados o no estudiados pueden incidir en la pérdida de la calidad de la obra o un excesivo costo de la misma. A continuación se presenta una breve historia de las principales normativas internacionales que se tomaron como referencia para el análisis y clasificación de los suelos en el laboratorio:

Algunos años antes de la fundación de lo que hoy conocemos como ASTM, se había creado la International Association for Testing Materials (IATM), y justamente el 16 de junio de 1898 los setenta miembros de la IATM se reunieron en Filadelfia para fundar la sección americana de la organización. En el momento de su creación, la organización era conocida como la Sección Americana de la Asociación Internacional de Pruebas y Materiales, por iniciativa de Charles B. Dudley. En 1902, la sección americana se constituye como organización autónoma con el nombre de: American Society for Testing Materials, que se volverá universalmente conocida en el mundo técnico como ASTM. Dudley fue naturalmente el primer presidente de la ASTM.

El campo de acción de la ASTM se fue ampliando en el tiempo, pasando a tratar no solo de los materiales ferroviarios, sino todos los tipos de materiales, abarcando un espectro muy amplio, comprendiendo los revestimientos y los mismos procesos de tratamiento. En el 2001 la ASTM asume su nombre actual: ASTM Internacional como testimonio del interés supranacional que actualmente han alcanzado las técnicas de normalización. La ASTM está entre los mayores contribuyentes técnicos del ISO, y mantiene un sólido liderazgo en la definición de los materiales y métodos de prueba en casi todas las industrias.

Otras normas con las que actualmente se trabaja para el análisis y clasificación de suelos es la AASHTO (Asociación Americana de Agencias Federales de Carreteras y Transporte), este es un órgano sin fines de lucro, no partidista que representa la asociación y los departamentos de transporte: aéreo, carreteras, transporte público, del ferrocarril, y el agua. Su objetivo principales fomentar el desarrollo, operación y mantenimiento de un sistema integrado de transporte. Las normas son emitidas para el diseño, la construcción de carreteras y puentes, los materiales, y muchas otras áreas técnicas.

Ambos sistemas fueron utilizados inicialmente en Norteamérica, y actualmente son tomados como referencia a nivel mundial. Las normas son necesarias para poder unificar criterios, ya que a través de ellas podemos tener elementos de comparación.

Las designaciones empleadas para realizar los ensayos de laboratorio tanto ASTM como AASHTO son las siguientes:

- Análisis Granulométrico de los Suelos (Método Mecánico) (ASTM D 421- 58 y D 422 - 63; AASHTO T 27 - 88, T 87 - 70 y T 88 - 70).
- Pesos Volumétricos o Pesos Unitarios (ASTM D - 698; AASHTO T - 99).
- Gravedad Específica (ASTM D - 558 y D 854 - 58; AASHTO T 93 - 86 y T 100 - 70).
- Límites de Atterberg (AASHTO T 89 - 68 y T 90 - 70; ASTM 423 - 66 y D 424 - 59).
- Ensaye “Proctor Estándar” (AASHTO T - 180, ASTM D 698 y O - 70, AASHTO T 99 - 90, T 99 - 70).
- Ensaye “Proctor Modificado” (ASTM D 1557 – 91 y O -70; AASHTO T 180 - 90 y O - 90).
- Relación de Carga California (CBR) (ASTM D - 1883, ASTM D 1883 - 73, AASHTO T 193 - 63).
- Determinación del Contenido de Humedad (ASTM D 2216 - 71; Parte 19).

2.2 Objetivos y Características de las Clasificaciones de los Suelos

Las clasificaciones de suelos permiten agrupar los suelos según sus propiedades fundamentales, de forma que se pueda garantizar su igual o similar comportamiento una vez puestos en obra. Esto quiere decir que existen propiedades índices que pueden correlacionarse con propiedades que caracterizan el comportamiento (capacidad de soporte, permeabilidad, etc.).

Los diversos tipos de clasificaciones son muy útiles para evaluar de una forma aproximada, pero rápida y económica, las características y propiedades de los suelos afectados o utilizados en una obra. Consisten en la división sistemática de los diferentes tipos de suelos en una serie de grupos tales que cada uno tiene propiedades geomecánicas y comportamientos similares. Las clasificaciones de suelos fijan un marco de referencia para el intercambio de información técnica y, gracias a la acumulación de experiencias, permiten acotar las características más significativas de los suelos y su comportamiento en diferentes condiciones.

Las propiedades consideradas como más interesantes dependerán de la aplicación que vaya a darse al suelo o del enfoque analítico escogido. Es así, las clasificaciones basadas en ingeniería civil, que se reseñan a continuación, se basan principalmente en la granulometría y en la plasticidad de los suelos por haberse comprobado en la mayoría de los casos que las características que interesan en la construcción (resistencia, deformabilidad, compactibilidad, permeabilidad, etc.) están relacionadas en una primera aproximación con dichas propiedades elementales.

Todas las clasificaciones se basan en propiedades intrínsecas de los suelos. Las características de un sistema de clasificación correcto deben ser las siguientes:

- **Ser claro y simple:** debe servir para distinguir los suelos que pueden utilizarse directamente de los que es preciso tratar y de los que es preferible desechar.

- **No tener zonas de indefinición o un mínimo de ellas:** y nunca en los suelos que interesa diferenciar claramente.
- **Basarse en ensayos simples:** si los ensayos que hay que realizar son complejos y caros su frecuencia disminuirá y en obras de menor importancia no se realizarán. Además, la complejidad de los ensayos disminuye en general su repetibilidad y su reproducibilidad.
- **Considerar sólo unos cuantos tipos distintos:** la excesiva proliferación de tipos de suelos en una clasificación hace que las distinciones entre los mismos disminuyan y con ello la utilidad práctica de la clasificación.
- **Estar basada en propiedades fundamentales:** la utilidad de una clasificación descansa en la acertada elección de los parámetros empleados.

Por lo tanto la Clasificación de Suelos consiste en agrupar suelos que tienen similares características de Plasticidad y Granulometría, para determinar sus condiciones de Resistencia en una obra determinada; en Nicaragua se utilizan principalmente dos métodos para clasificar el suelo: el Método HRB (Sistema de Clasificación de Caminos Públicos) de los EUA, el cual agrupa los suelos de acuerdo a su adaptabilidad para la construcción de caminos; también conocido como el Método de la AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials), y el Método SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos), el cual se basa en la distribución por tamaños de las partículas de suelo y en la plasticidad de los mismos.

2.2.1 Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (S.U.C.S.), para fines Ingenieriles.

La clasificación ASTM, conocida también como SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos), fue desarrollada por esta organización (Sociedad Americana para el Ensayo de Materiales) tras la segunda guerra mundial a partir de una clasificación anterior de Casagrande (1942), denominada Sistema de

Clasificación de Aeródromos y establecida en 1948. El procedimiento original de la ASTM está recogido en su norma D 2487.

Las propiedades utilizadas son la granulometría para las gravas y las arenas y la plasticidad para los finos. Es posible incluso realizar una clasificación aproximada a partir de inspecciones de campo, si bien ello no debe llevarse más allá de los estudios iniciales.

Para poder realizar una clasificación de suelo por medio de éste sistema se debe de conocer la distribución granulométrica por el método mecánico (Granulometría Grande y Pequeña), así mismo, se deben de determinar los límites de consistencia, teniendo ésta información se puede proceder la clasificación del suelo.

Los suelos se clasifican con dos letras. La primera de ellas es la inicial de la palabra inglesa que designa el tipo de suelo, mientras que la segunda es un adjetivo calificativo, referida en algunos casos a características de la curva granulométrica, en otros a la cantidad de finos y en otros a la plasticidad de éstos. La siguiente tabla indica las letras utilizadas con su significado.

Tabla II.1 Designación y significado por letra del Sistema S.U.C.S.

Primera letra	Palabra	Segunda letra	Palabra
G	Grava (Gravel)	W	Bien graduado (Well graded)
S	Arena (Sand)	P	Mal graduado (Poorly graded)
M	Limo (Mo, en sueco)	M	Limoso (Mo, en sueco)
C	Arcilla (Clay)	C	Arcilloso (Clayey)
O	Orgánico (Organic)	L	Baja Plasticidad (Low plasticity)
Pt	Turba (Peat)	H	Alta plasticidad (High plasticity)

Fuente: Ingeniería de Carreteras, Carlos Kraemer, José María Pardillo, Vol. II, Pag. 39.

Tabla II.2 Sistema Unificado de Clasificación de Suelos bajo el punto de Vista de la Ingeniería. Título D-2487 de la ASTM

Fuente: Ingeniería de Cimentaciones, Ralph Peck, 2^{da} Ed., Pag. 56

Divisiones Principales		Grupo	Nombres Típicos	Clasificación según el porcentaje de finos	Criterios para la Clasificación
Suelos de partículas Gruesas Más del 50 % es retenido en la malla No. 200	Gravas 50 % o más de la fracción Gruesa se retiene en la malla No. 4	Gravas limpias	GW	Gravas bien graduadas, mezcla de grava y arena, con poco o nada de fino.	$C_u = D_{60}/D_{10}$ mayor que 4 $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ entre 1 y 3 No satisfacen ambos criterio para GW Los límites de Atterberg Quedan abajo de la línea "A", o el índice plástico es menor que 4. Los límites de Atterberg Quedan arriba de la línea "A" y el índice plástico es mayor que 7. $C_u = D_{60}/D_{10}$ mayor que 6 $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ entre 1 y 3 No satisfacen ambos criterio para SW Los límites de Atterberg Quedan abajo de la línea "A", o el índice plástico es menor que 4. Los límites de Atterberg Quedan arriba de la línea "A" y el índice plástico es mayor que 7.
			GP	Gravas mal graduadas, mezclas de grava y arena, con poco o nada de finos.	
		Gravas con finos	GM	Gravas limosas, mezclas de grava, arena y limo.	
			GC	Gravas arcillosas, mezclas de grava, arena y arcilla.	
	Arenas Más del 50 % de la fracción Gruesa pasa la malla No.4	Arenas limpias	SW	Arenas bien graduadas, Arenas con grava, con poco o nada de finos.	
			SP	Arenas mal graduadas, Arenas con grava, con poco o nada de finos.	
		Arenas con finos	SM	Arenas limosas, mezclas de arena y limos.	
			SC	Arenas arcillosas, mezcla de arena y arcilla.	
	Suelos de grano Finos 50 % o más pasa la malla No.200	Limos y arcillas Con limite Liquido De 50 % o menor	ML	Limos inorgánicos, arenas muy finas, polvo de roca, limos arenosos o arcillas ligeramente plásticos.	<p>Carta de plasticidad. Para clasificar suelos de partículas finas y las fracciones finas de los suelos de partículas gruesas. Los límites de Atterberg que quedan en la zona sombreada son clasificaciones indeterminadas que requieren el uso de símbolos dobles. La ecuación de la línea "A" es $PI = 0.73(LL - 20)$.</p>
			CL	Arcilla inorgánica de baja a media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, Arcillas dobles	
		Limos y arcillas Con limite Liquido Mayor de 50 %	OL	Limos orgánicos y arcillas limosas, orgánicas de baja plasticidad.	
			MH	Limos inorgánicos, limos Micáceos o diatomáceos, Limos elásticos.	
CH			Arcilla inorgánicas de alta plasticidad. Arcillas francas.		
OH			Arcillas orgánicas de media a alta plasticidad, limos orgánicos de media plasticidad		
Pt			Turba y otros suelos altamente orgánicos.		
Suelos con elevada Proporción de Materia orgánica.	Pt	Turba y otros suelos altamente orgánicos.	Identificación Visual o Manual		

2.2.2 Clasificación A.A.S.H.T.O.

La clasificación A.A.S.H.T.O. (Asociación Americana de Agencias Federales de Carreteras y Transporte) fue adoptada en 1931. No pretende identificar el suelo según su naturaleza (grava, arena, arcilla, limo), sino simplemente señalar que tipos de suelos son más útiles para la construcción de infraestructuras. Así, se diferencian siete grupos de suelos, denominados A-1 a A-7, más otro que agrupa a los suelos orgánicos.

Los suelos A-1 a A-3 son suelos granulares. El A-1 es un todo uno no plástico ($IP \leq 6$), mezclas de gravas y arenas. Muchas zahorras (gravas de granulometría continua) están incluidas en este grupo. Este grupo se divide en dos subgrupos: A-1-a (básicamente grava) y A-1-b (predominantemente arena gruesa). El grupo A-3 es una arena limpia y uniforme, a lo sumo con algo de limo o de grava. El A-2 es un suelo granular con finos plásticos, por lo que no puede ser clasificado como A-1 o A-3. Se subdivide en cuatro subgrupos (A-2-4, A-2-5, A-2-6 y A-2-7) según la plasticidad de los finos (la denominación responde al criterio de añadir la clasificación de sus finos; así, un suelo A-2-4 es un suelo A-2 con finos tipo A-4).

Tabla II.3 Sistema de Clasificación A.A.S.H.T.O.

Clasificación General	Materiales Granulares (menores del 36% pasa por el tamiz n° 200)							Materiales Limo-Arcillosos (más del 35% pasa por el tamiz n° 200)				
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7	
Grupo	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5	A-7-6
Subgrupo	A-1-a	A-1-b	A-3	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7	A-4	A-5	A-6	A-7-5	A-7-6
Análisis granulométrico. Porcentaje Que pasa por el tamiz:												
N° 10 (2.0 mm)	50 máx.											
N° 40 (0.426 mm)	30 máx.	50 máx.	51 máx.									
N° 200 (0.075 mm)	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 máx.	36min.	36min.	36 min.	36 min.	
Característica de la fracción que Pasa por el tamiz N° 40												
Límite líquido				40 máx.	41min.	40 máx.	41 min.	40 máx.	41 min.	40 máx.	41 min.	41 min.
Índice de plasticidad	6 máx.		N.P.	10 máx.	10 máx.	11min.	11min.	10 máx.	10 máx.	11min.	11min.	11min.
Tipo de los materiales preponderantes	Fragmentos de piedra, Grava y Arena		Arena Fina	Grava y Arena Limosa o Arcillosa				Suelos Limosos		Suelos Arcillosos		
Valor general como Explanada	Excelente a Bueno							Regular a Malo				

- (1) El índice de Plasticidad del subgrupo A-7-5 es igual o menor que el límite líquido menos 30. El índice de Plasticidad del subgrupo A-7-6 es mayor que el índice líquido menos 30.
- (2) La colocación de A-3 antes de A-2 en el proceso de eliminación de izquierda a derecha no necesariamente indica superioridad de A-3 sobre A-2.

Fuente: Ingeniería de Carreteras, Carlos Kraemer, Sandro Rocci, Vol. II., Pag. 42.

Para clasificar a un suelo por éste método se necesita:

- 1) Porcentaje que pasa por el tamiz N° 200.
- 2) Porcentaje que pasa por el tamiz N° 10.
- 3) Porcentaje que pasa por el tamiz N° 40.
- 4) Límite Líquido.
- 5) Límite Plástico.
- 6) Índice de Plasticidad.
- 7) Índice de Grupo.

El Índice de Grupo es un parámetro que determina la resistencia que presentan suelos de la misma clasificación. A mayor Índice de Grupo la resistencia del suelo será menor y viceversa.

2.2.3 Especificaciones Técnicas de Materiales para Carreteras.

El material selecto según la utilización que se le desee dar, tales como estructuras de pavimento o revestimiento de caminos, deberán ser aprobados por el ingeniero, conjuntamente con el laboratorio. No deberá contener terrones de arcilla, materias vegetales ni otras sustancias objetables y su agregado grueso no deberá fracturarse cuando se sature de agua y seque alternativamente.

En general se usan materiales disponibles en el lugar de emplazamiento de la obra sobre los que se aplican técnicas de mejoramiento de suelos (Mezclas), con el objetivo de mejorar su comportamiento y disminuir los espesores de diseño en cada una de las capas que forman el pavimento.

Tabla II.4 Material para Base

% Que Pasa Por Tamiz No.	A	B	C	D
2"	100	100	-	-
1"	-	75 - 95	100	100
3/8"	30 - 65	40 - 75	50 - 85	60 - 100
Nº 4	25 - 55	30 - 60	35 - 65	50 - 85
Nº 10	15 - 40	20 - 45	25 - 50	40 - 70
Nº 40	8 - 20	15 - 30	15 - 30	25 - 45
Nº 200	2 - 8	5 - 15	5 - 15	8 - 15

L.L. (%)	25 Máximo
I.P. (%)	6 Máximo
Desgaste (%)	50 Máximo
EQ. Arena (%)	30 Mínimo
C.B.R. (%)	80 Mínimo
Peso Vol. Compacto (Kg/m ³)	1,120 Mínimo

Fuente: Especificaciones ASTM D-1241.

Tabla II.5 Material para Revestimiento de Caminos

% Que Pasa Por Tamiz No.	C	D	E
1"	100	100	100
3/8"	50 - 85	60 - 100	-
Nº 4	35 - 65	50 - 85	55 - 100
Nº 10	25 - 50	40 - 70	40 - 100
Nº 40	15 - 30	25 - 45	20 - 50
Nº 200	5 - 15	8 - 15	6 - 15

L.L. (%)	40 Máximo
I.P. (%)	4 - 10 Máximo
Desgaste (%)	50 Máximo

Fuente: Especificaciones ASTM D-1241.

Tabla II.6 Material para Sub Base

Tamiz No.	% Que Pasa
1 ½"	100
Nº 4	35 - 65
Nº 200	0 - 10

L.L. (%)	25 Máximo
I.P. (%)	6 Máximo
C.B.R. (%)	50 Mínimo

Fuente: Especificación NIC – 2000.

Tabla II.7 *Granulometría Recomendada para Revestimiento de Caminos

Tamiz No.	% Que Pasa
2"	100
Nº 4	40 - 60
Nº 40	20 - 35
Nº 200	8 - 15

L.L. (%)	40 Máximo
I.P. (%)	4 - 10 Máximo
C.B.R. (%)	30 Mínimo
EQ. Arena (%)	30 Mínimo

Tabla II.8 *Requerimiento de Compactación

Base	100 %
Revestimiento	100 %
Sub Base	Recomendable = 100%
	Aceptable = 95%
Terracería	Recomendable = 95 %
	Aceptable = 90 %

*Fuente: Manual de Laboratorio de Ingeniería de Materiales y Suelos (IMS).

Tabla II.9 *Clasificación de suelos para estructura de pavimentos.

CBR	Clasificación General	Usos	Sistema de Clasificación	
			Unificado	AASHTO
0 - 3	Muy Pobre	Sub-rasante	OH, CH, MH, OL	A-5, A-6, A-7
3 - 7	Pobre a Regular	Sub-rasante	OH, CH, MH, OL	A-4, A-5, A-6, A-7
7 - 20	Regular	Sub-base	OL, CL, ML, SC, SM, SP	A-2, A-4, A-6, A-7
20 - 50	Bueno	Base, Sub-base	GM, GC, GW, SM, SP, GP	A-1-b, A-2-5, A-3, A-2-6
> 50	Excelente	Base	GW, GM	A-1-a, A-2-4, A-3

Tabla II.10 *Clasificación de la sub-rasante.

CBR	Clasificación
0 – 5	Sub-rasante muy mala
5 – 10	Sub-rasante mala
10 – 20	Sub-rasante regular a buena
20 – 30	Sub-rasante muy buena
30 – 50	Sub-base buena
50 – 80	Base Buena
80 – 100	Base muy Buena

*“Principios de diseño de pavimentos”, Jhon Wiley & Sons, 1959.

2.3 Particularidades y Definiciones

Los términos roca y suelo, tal como se usan en la Ingeniería Civil, implican una clara distinción entre dos clases de materiales de cimentación. Se dice que *roca* es un agregado natural de granos minerales unidos por grandes y permanentes fuerzas de cohesión. Por otra parte, se considera que *suelo* es un agregado natural de minerales con o sin componentes orgánicos, que pueden separarse por medios mecánicos comunes, tales como la agitación en el agua.

En su trabajo práctico el ingeniero civil ha de enfrentarse con diversos e importantes problemas planteados en el terreno. El que a su vez le sirve de cimentación para soportar estructuras y terraplenes, como material de construcción; debe proyectar estructuras para retención del terreno en excavaciones y cavidades subterráneas, en fin el suelo interviene en un sinnúmero de particularidades.

El suelo es el material de construcción más abundante del mundo y en muchas zonas constituye de hecho el único material de construcción disponible localmente, es aquí que cuando el ingeniero civil emplea el suelo como material de construcción que debe seleccionar el tipo de suelo más apropiado a las demandas exigidas en las especificaciones de determinada obra, cerciorándose de que sus propiedades correspondan a las supuestas en el proyecto; o en el último caso modificar la ejecución de este, considerando a priori cualquier diferencia entre las propiedades de la obra construida y las que se establecieron en el plan.

Ante esta situación surge la necesidad técnica y económica de investigar las condiciones del subsuelo, a través de los estudios geotécnicos que demuestren de forma convincente, las características físico-mecánicas del suelo, presentando un panorama claro de sus propiedades existentes, a fin de cumplir con una premisa como criterio técnico de ejecutar una obra civil estructuralmente segura y económicamente barata, sin arriesgar la calidad de la obra proyectada.

2.3.1 Características de los Suelos

Estudiando los problemas con el solo objetivo de aplicar la geotecnia a la concepción y a la construcción de obras de ingeniería civil; examinaremos las *características físicas y mecánicas* de conjunto. Distinguimos, de forma bastante arbitraria, las *características físicas* de un suelo, geométricas y ponderales, y sus *características mecánicas* que permiten definir el conjunto de éste frente a las solicitudes externas o internas.

El ingeniero no tendrá que olvidar nunca que las *características físicas* pueden determinarse con una relativa precisión, y que una pequeña variación de sus valores no modifica de forma fundamental el equilibrio o el comportamiento de los terrenos. Al contrario, las *características mecánicas* pueden variar de forma sensible con el tiempo, con el método de experimentación y con las condiciones exteriores; una variación incluso pequeña de sus valores puede influir considerablemente en la distribución de los esfuerzos, la naturaleza del equilibrio, y modificar radicalmente la seguridad de las obras.

Las *propiedades físicas* básicas, de un suelo son las que se requieren para definir su estado. El propósito del análisis y diseño en Ingeniería es cuantificar las tres fases constituyentes y de esta forma poder expresar las relaciones entre ellas en términos numéricos por ende los suelos y las rocas no son sólidos absolutos, sino que al contrario los suelos y las rocas están constituidos cuando menos de dos fases y en muchas ocasiones de tres fases debido a que presentan medios porosos:

- 1) Fase Sólida: Esta formada por partículas minerales, inorgánicas o por partículas orgánicas y en algunos casos por ambas.
- 2) Fase Líquida: Se considera a todos los líquidos que en un momento dado pueden estar llenando de forma parcial o total los vacíos que deja la fase sólida.
- 3) Fase Gaseosa: Está constituida por todos los gases que están llenando los vacíos parcial o totalmente que han sido dejados por la fase líquida.

Lo suelto o lo compacto de una muestra de suelo puede determinarse cuantitativamente en el laboratorio de suelo. Los términos porosidad, relación de vacíos y el peso específico relativo de los sólidos se usan comúnmente para definir la densidad de la muestra; estas relaciones son importantísimas para el manejo comprensibles de las propiedades mecánicas de los suelos y un completo dominio de su significado y sentido físico.

Cuando se perturba el estado natural del material, este se abulta más. Esta propiedad de *abundamiento* es el aumento de volumen después que se ha perturbado y se expresa como porcentaje del volumen del banco.

Si se va a edificar o construir algo sobre un material de relleno debe de cambiarse la densidad del material del estado en el banco a un estado más compacto. La reducción de volumen a partir del volumen medido en el banco se define como *enjuntamiento*.

Tabla II.11 Coeficientes de Abundamiento y Enjuntamiento para diferentes suelos.

SUELO	COEFICIENTES			
	ABUNDAMIENTO		ENJUNTAMIENTO	
Arena, Grava	1,07	1,17	0,93	0,87
Capa Vegetal	1,11	1,2	0,9	0,84
Marga	1,15	1,6	0,85	0,65
Arcilla blanda	1,35	1,65	0,75	0,65
Arcilla dura	1,4	1,7	0,75	0,6
Roca muy partida	1,4	1,85	0,7	0,55
Roca mal partida	1,5	2	0,85	0,65

Fuente: Método y Equipo de Construcción, Apuntes Ing. Ernesto Cuadra, Pag. 53.

Se denomina *relación de vacíos* (e) o índice de poros a la relación del índice de vacíos y el de los sólidos de un suelo. En la práctica no suelen hallarse valores menores de 0.25 (Arenas muy compactas con finos) ni mayores de 15, en el caso de algunas arcillas altamente compresibles.

Se llama *porosidad* (n) de suelo a la relación entre su volumen de vacío y el volumen de su masa. Se expresa como porcentaje. Los valores reales suelen oscilar entre 20 % y 95 %.

Se denomina *grado de saturación* (G_w) de un suelo a la relación entre su volumen de agua y su volumen de vacío, suele expresarse también como un porcentaje. Varía de 0 (suelo seco) a 100 % (suelo completamente saturado).

Se conoce como *contenido de agua* (w) o humedad de un suelo, la relación entre el peso de agua retenida y el peso de su fase sólida. Suele expresarse como un porcentaje.

Los suelos se pueden encontrar concentrados en puntos específicos catalogados como: depósitos, minas, bancos de materiales de préstamo, etc., los cuales pueden llegar a ser usados como material de construcción, siempre y cuando cumplan con especificaciones técnicas requeridas para una obra o construcción en general. En dichos depósitos los materiales encontrados pueden tener los siguientes usos:

- a) Agregados para mortero y concreto.
- b) Material para Construcción: Base, Subbase y Explanadas.
- c) Materia prima para elaboración de Mampostería.
- d) Material para Construcción de Terracería.
- e) Material para fabricación de Suelo Cemento.
- f) Las Arcillas pueden ser utilizadas como Núcleo de Presas de Tierra.

Un ejemplo común que vive el Ingeniero, es la determinación del tipo de suelo que servirá como cimentación de la estructura en una obra, mediante análisis exhaustivos, ya que ciertos suelos resultan ser complejos en su comportamiento mecánico. De hecho los suelos que presentan las mejores características de cimentación en casos generales son los suelos gruesos con o sin contenido de finos.

A simple vista se puede clasificar al suelo mediante dos tipos: Se llaman suelos no coherentes (granulares) a los que no presentan ninguna cohesión; también se les puede definir como aquellos que no tienen resistencia propia a la compresión simple sin presión lateral. Los suelos Granulares se producen por alteraciones físicas de las rocas. Esta alteración está en el origen de la forma de sus partículas (redondeada o angulosa). Contienen una proporción reducida de finos, por lo que la plasticidad es nula o muy baja. No tienen una cohesión apreciable y, por tanto, la resistencia es debida únicamente al rozamiento interno. Sus propiedades

derivan fundamentalmente de la granulometría. Se incluyen las gravas y arenas. Estas presentan una cierta capacidad de retener agua por tensión capilar, lo que, cuando están húmedas, provoca un cierto apelmazamiento de los granos; además, el flujo de agua a través de ellas no es turbulento. Predominan las partículas de naturaleza silíceas o calizas, pero también pueden ser de origen volcánico.

Desde el punto de vista físico la cohesión es la propiedad que permite, en el caso de una arcilla o de una mezcla moldeable, dar forma a una mezcla que permanece unida, experimento evidentemente imposible con las arenas puras, que son prototipos de suelos sin cohesión. Los suelos cohesivos se originan por alteraciones químicas y son de tamaño inferior a 0.063 mm, por lo que poseen gran capacidad de retener agua, lo que se traduce en variaciones de volumen producidas por la variación de la humedad. Los suelos cohesivos se hinchan y se contraen, pudiendo presentar una pérdida de capacidad resistente. En este punto de vista los mejores son los suelos granulares con una baja proporción de finos.

En realidad, los suelos existentes en la naturaleza no responden a uno de estos tipos puros, sino que están formados por distintas proporciones de cada uno de ellos. Así, se habla de la fracción granular y de la fracción limo-arcillosa de un suelo. La necesidad de trabajar en la práctica habitualmente con suelos mixtos es precisamente la que origina las clasificaciones de suelos, cuyo estudio se aborda en los apartados siguientes.

Los suelos arenosos son inertes desde el punto de vista químico, carecen de propiedades coloidales y de reservas de nutrientes. En cuanto a las propiedades físicas presentan mala estructuración, buena aireación, muy alta permeabilidad y nula retención de agua. Por el contrario los suelos arcillosos son muy activos desde el punto de vista químico, absorben iones y moléculas, flocculan (la fracción arcilla permanece inmóvil) y dispersan, retienen mucha agua, bien estructurados, pero son impermeables y asfixiantes. Los suelos limosos tienen nula

estructuración, sin propiedades coloidales, son impermeables y con mala aireación.

En la Ingeniería se pueden clasificar cuatro grupos de suelos que son producto de la meteorización de las rocas, las cuales son: gravas y arenas –los cuales son áridos sin cohesión, formados por fragmentos de rocas o de minerales, de forma redondeada o angulosa–. Se pueden clasificar por su tamaño medio (arena fina, arena gruesa, grava) y por su homogeneidad. Los limos que son producto de la desintegración mecánica son suelos finos de poca o ninguna plasticidad, y de granulometría generalmente uniforme. Su origen puede ser puramente mineral o parcialmente orgánico. Y las arcillas que son producto de la descomposición química son suelos formados por partículas.

2.3.2 Bancos de Materiales de Préstamo

Se entiende como banco de préstamo a los yacimientos de sustancias minerales y rocas no metálicos compuesto por material consolidado y no consolidado, cuyo uso está designado para las obras de infraestructura, que no requieran más operaciones que las de arranque, fragmentación y clasificación. Son excavaciones de las cuales se obtienen materiales para formar los terraplenes o rellenos, y los tales se pueden emplear solos, mezclados o estabilizados con otros materiales naturales o elaborados, en tal forma que cumplan con las características requeridas para su uso.

De acuerdo con la ley nacional, el Ministerio de Energía y Minas (MEM) debe extender un permiso de la concesión a quien desee explotar un banco de préstamo. Dicha explotación debe cumplir completamente con las estipulaciones de la Ley Especial sobre Exploración y Explotación de Minas (Ley N° 387). La persona o la compañía que desee explotar un banco de préstamo debe también, obtener un permiso ambiental emitido por la agencia responsable, MARENA, antes de emprender cualquier actividad dentro de la cantera. El frente de trabajo no debe exceder una altura de 10 metros, a menos que la estabilidad del material

que esta extrayendo permita ejecutar la explotación a mayor altura de forma segura.

Es de nuestro interés tratar de caracterizar las propiedades que muestran algunos Bancos de Material Selecto y Hormigón (Escoria Volcánica) en el Municipio de Managua dada la demanda que presentan en construcción. Los primeros indicios de extracción de estos materiales se dice fue en la década de los años 50, pero su auge ocurre en la medida que se conoce su calidad. Lo que hace cada vez más importante disponer de un conocimiento específico acerca de sus propiedades físicas y mecánicas para ciertos usos en el campo de la construcción.

- **Tipos de Bancos de Material de Préstamo**

- Longitudinales: son producto de los cortes.
- Laterales: distancia al eje del camino de hasta 20 m.
- Banco de préstamo: distancia al eje del camino de hasta 100 m, más de 10 Km no es costable.

Cabe señalar que los préstamos longitudinales y laterales son de uso solamente para obras horizontales; en cambio los bancos de préstamos son utilizados tanto en obras verticales como en horizontales.

Los préstamos laterales son los que se excavan a distancias no mayores de 100 m a uno u otro lado del eje del terraplén. La superficie de la excavación será sensiblemente rectangular, con el eje mayor paralelo al del terraplén; y proyectada sobre dicho eje, ningún extremo de la mencionada superficie sobresaldrá más de 20 m del correspondiente extremo del terraplén que se construye con el material extraído.

Los préstamos de banco son los que se excavan a distancias mayores de 100 m a uno u otro lado del eje del terraplén; o a distancias menores pero cuyos materiales se emplean en la construcción de terraplenes que no están laterales a dichos préstamos, tomando en cuenta la dimensión de 20 m.

El estudio de bancos de materiales se debe enfocar a definir las siguientes características:

1. Localizar los bancos más cercanos a las obras civiles.
2. Localizar bancos con el menor volumen posible de despilme (capa vegetal).
3. Recomendar bancos que topográficamente sean de fácil explotación.
4. Recomendar bancos que sean lo más sano posible.
5. Localizar bancos con la Granulometría requerida para las obras.
6. Proponer bancos de materiales cuyas características mecánicas y químicas no presenten alteraciones estructurales.
7. Los materiales de los bancos recomendados deben resistir su manejo, desde su extracción, hasta su colocación.
8. Los bancos deberán contener como mínimo 10,000 m³ de material para que sea explotable.
9. Conocer si el material disponible en el banco puede ser excavable, removible o utilizable.

- **Localización de Bancos de Material de Préstamo**

El desarrollo de criterios y técnicas para la localización de bancos de materiales, es de vital importancia en la realización de una obra civil. Localizar un banco es más que descubrir un lugar donde exista un volumen razonable y explotable de suelos que puedan utilizarse en construcciones generales, cumpliendo con las especificaciones de calidad y volúmenes requeridos, implica que los elegidos deben de garantizar ser los mejores entre los disponibles:

- Se debe comparar la calidad de los materiales extraíbles con el propósito de uso.
- Que tengan fácil acceso y que permitan explotarse por procedimientos más eficientes y menos costosos.

- Tienen que ser los que produzcan las mínimas distancias de acarreo al sitio de la obra, siendo este aspecto uno de los principales en la repercusión de los costos.
- Deben conducir a los procedimientos constructivos más sencillos y económicos durante su tendido y colocación en la obra, requiriendo los mínimos tratamientos.
- Los bancos deben estar localizados de manera que no conduzcan a problemas legales de lenta o difícil solución y que perjudiquen a los habitantes de la región.

Considerando que Nicaragua alberga importantes yacimientos minerales y bancos de materiales, que constituyen parte de los más importantes recursos naturales que el país posee, la finalidad del presente estudio se enfocará en la localización de los bancos de materiales adecuados para la pavimentación, y se procederá a efectuarles las pruebas necesarias para su empleo, así como determinar la calidad de los materiales, a fin de dar criterio de diseño para la construcción en: mezclas de materiales para mejorar los bancos.

Comúnmente es necesario localizar bancos para material de terracerías, para capa sub-rasante, para sub-base y base de pavimento y para carpeta, en el caso de carreteras. En añadidura, podrán requerirse bancos para la obtención de los materiales necesarios para la elaboración de concretos, de piedra para mampostería u otros especiales.

Los bancos para terracerías en general abundan y son fáciles de localizar, pues para ese fin sirven casi todos los materiales que sean económicamente explotables, exceptuándose suelos MH (Limos inorgánicos de alta compresibilidad), CH (Arcillas inorgánicas de alta compresibilidad) y OH (arcillas y limos orgánicos de alta compresibilidad) con límite líquido mayor que 100 % y suelos P_t . Sin embargo pueden presentarse algunos problemas, precisamente por aparecer esos materiales merecedores de rechazo por su mala calidad, en llanuras lacustres, zonas de inundación, depósitos de delta, grandes planicies

aluviales y costeras u otras zonas en donde abunden los depósitos muy finos. En todos estos casos, no es raro tener que buscar los aprovisionamientos de materiales fuera de esas zonas, sino son demasiado extensas.

Los bancos de terracerías conviene fijarlos no demasiado espaciados, para no dar lugar a distancias de acarreo excesivas, la separación óptima está en la mayoría de los casos de la práctica, allá donde se alcance el equilibrio de costos entre el acarreo, por un lado y el costo del despalme y preparación del banco por el otro. Las distancias que resultan no suelen exceder los 5 Km. entre banco y banco, aunque podrá haber casos especiales en que éstas distancias sean mucho mayores, sobre todo en zonas agrícolas, en que los costos de afectación son muy altos.

Generalmente el material que se emplea en un terraplén es el que se encuentra sobre la misma ruta producto de cortes o prestamos laterales. Los bancos para sub-rasante deberán ser homogéneos, y de esta manera evitar que los espesores del pavimento varíen con demasiada frecuencia, los podemos encontrar en formaciones de roca muy alterada o en bancos arenosos estratificados.

Un requisito que condiciona los bancos de materiales elegidos, -para la capa sub-rasante- es el de lograr homogeneidad en longitudes significativas, para evitar que las estructuras y espesores de las capas de pavimento suprayacentes varíen con demasiada frecuencia. Las distancias comunes entre bancos pueden extenderse en este caso hasta 10 Km.

Los materiales para sub-base y base de pavimento, además del requisito anterior, suelen estar condicionados en forma importante por los tratamientos mecánicos que llegan a requerir para satisfacer las normas de calidad, mismos que, en añadidura, necesitan de la instalación de equipos especiales y plantas complejas, que no conviene mover mucho. Por todo ello, suelen estar mucho más espaciados, al grado que distancias del orden de 50 Km no son difíciles de ver.

Los bancos para sub-rasante suelen encontrarse en las colinas bajas y extendidas, en formaciones de roca muy alterada, en las zonas limo-arenosas de los depósitos de ríos, en zonas de depósito volcánico de naturaleza piroclástica, como conos cineríticos o tobáceos, en horizontes arenosos de formaciones estratificadas extensas, etc.

Los materiales para sub-base, y base suelen encontrarse en playones y márgenes de ríos, en frentes y precipicios rocosos, cerros relativamente elevados y de pendiente abrupta, etc.

En general, los bancos de préstamo pueden producir impactos negativos importantes, incluyendo la producción de sedimentos de un área grande desgastada por erosión, un cambio en el uso del suelo, impactos en la vida silvestre, problemas de seguridad e impactos visuales, entre otros. Es por ello que la planeación del sitio de ubicación de un banco de materiales debería llevarse a cabo en combinación con un Análisis Ambiental para determinar la idoneidad del sitio y las limitaciones. Se debe preparar un plan de Desarrollo de Bancos para explotación de bancos de préstamo a fin de definir y controlar el uso del sitio y de los materiales que se van a extraer. En un plan típico de desarrollo se define la ubicación del depósito de materiales; el equipo de trabajo, las áreas de almacenamiento y de extracción; los caminos de acceso; los límites de la propiedad; los recursos hídricos; la geometría final del banco y de los taludes circundantes.

Según la Norma Técnica Obligatoria Nicaragüense (NTON), documento legal que rige todo lo referente a los bancos de materiales de préstamo, estos deberán ubicarse de la siguiente manera según lo estipulado conforme a la presente ley:

La localización del banco debe ser de tal forma, que el aprovechamiento u operaciones, no puedan ser observados desde la carretera o camino principal, siendo iniciado su aprovechamiento desde la parte no visible.

La actividad de extracción de los bancos de materiales debe estar localizada a una distancia no menor de 100 m del derecho de vía de las carreteras y caminos permanentes.

Los bancos de materiales deben estar ubicados a una distancia mínima de 300 m de Hospitales, centros de salud, escuelas, iglesias, centros recreativos, cuando no se usare explosivos, y en una posición contraria a la dirección del viento.

Los bancos de Materiales que requieran el uso de explosivos deben estar ubicados a 500 metros de Hospitales, centros de salud, escuelas, iglesias, centros recreativos además en una posición contraria a la dirección del viento.

Los sitios que están sujetos a inundaciones periódicas por efecto del drenaje, no deben ser utilizados para extraer material de préstamo.

Los bancos de materiales ubicados en áreas donde existan acuíferos destinados al abastecimiento público, deben tener una profundidad máxima de aprovechamiento de tal forma que la distancia entre el nivel más inferior de corte de materiales y el nivel máximo superior estacional del agua subterránea, sea como mínimo de 5 metros.

La distancia mínima que debe tener un banco de material con relación a los cuerpos de agua superficial es de 200 m a partir del punto de su máxima crecida, y a 1 Km de forma radial a las obras de captación de agua superficial ó subterránea, destinadas al consumo de los habitantes.

La distancia mínima que debe tener un banco de materiales con relación a los aeropuertos es de 1 km.

- Exploración de Campo

Al llevar a cabo la exploración de una zona para establecer un banco de materiales, es preciso considerar los siguientes objetivos:

- Determinar la naturaleza del depósito, incluyendo toda la información que sea necesaria sobre geología y explotaciones anteriores.
- Definir la profundidad, espesor, extensión y composición de los estratos de suelo o roca que se pretenda explotar.
- Situación de agua subterránea, incluyendo posición y variación del nivel freático.
- Obtener toda la información posible sobre las propiedades de los suelos y las rocas así como de los usos que de ellos se han hecho.

Además una investigación completa para la exploración y muestreo de bancos, está formada por tres etapas:

- a) Reconocimiento preliminar, etapa en la que se debe considerar la opinión de un Ingeniero Geólogo, siendo esencial contar con el estudio geológico del lugar.
- b) La exploración preliminar, en la cual mediante procedimientos sencillos, sobre espesor y composición del subsuelo, el nivel freático y todos los datos necesarios que nos definen si la zona es adecuada para la ubicación de un banco de materiales con las características que se buscan.
- c) La exploración definitiva, en la que mediante sondeos y pruebas de laboratorio, se definen detalladamente las características de los suelos y rocas encontradas.

- **Muestreo de Bancos**

Consiste en la obtención de una porción del material con que se pretende construir una estructura o bien del material que ya forma parte de la misma, de tal forma que las características de la porción obtenida sean representativas del conjunto. El muestreo, además, incluye las operaciones de envase, identificación y transporte de las muestras.

Los bancos de suelo han de muestrearse para conocer en el laboratorio las características que interesen para definir o autorizar su uso. Para un correcto

muestreo del suelo, se tienen dos tipos de sondeos: Preliminares y definitivos; los cuales a su vez se agrupan en tres métodos:

Métodos de exploración preliminar

- a) Pozos a cielo abierto, con muestreo alterado o inalterado.
- b) Perforaciones con posteadora, barrenos helicoidales, o métodos similares.
- c) Métodos de lavado.
- d) Métodos de Penetración Estándar.
- e) Métodos de Penetración Cónica.
- f) Penetraciones en boleos y gravas (con barretones).

Métodos de sondeo definitivo

- a) Pozos a cielo abierto con muestreo inalterado.
- b) Métodos con tubos de pared delgada.
- c) Métodos rotatorios para roca.

Métodos geofísicos

- a) Sísmico.
- b) De resistencia eléctrica.
- c) Magnético y Gravimétrico.

No existe ninguna regla para fijar el número de sondeos que es necesario hacer en un caso dado. Algunas instituciones fijan un determinado número de sondeos por cada número de metros cúbicos de material para explotar, lo cual no toma en cuenta ni la homogeneidad o heterogeneidad de la formación, ni ninguna otra de las características geológicas particulares, por lo que el anterior no parece ser un buen criterio para definir la exploración; será preferible ceñirse en cada caso a las características específicas del banco en estudio, teniendo muy en cuenta las condiciones geológicas locales, los frentes que han de atacarse, etc.

Además, es más oportuno basar la medida de las propiedades de los suelos en ensayos sobre muestras alteradas, lo que evita la necesidad de trabajar con muestras inalteradas, algo que es mucho más caro y complejo. Debemos recordar que los costos más importantes en la construcción corresponden a los materiales

roca, grava, arena, por lo que su localización y selección se convierte en un problema básico para el ingeniero civil.

En general entre las pruebas a realizarse estarán las de clasificación, las que tienen por objeto establecer la calidad de los materiales, que entre otras cosas, permitirán establecer si se cumplen las normas mínimas que establezca la institución constructora y, las pruebas de diseño propiamente dicho. Otro punto en el que suele haber bastante diferencia institucional es el que se refiere a la fijación de las pruebas para fijar las características de expansividad de los suelos.

Pruebas de laboratorio que se efectúan a los suelos que se extraen de bancos, según su utilización:

I. Terracerías.

a) Clasificación: Límites de plasticidad.

Granulometría

b) Calidad: Peso volumétrico máximo

A veces, Valor Relativo de Soporte.

II. Capa subrasante.

a) Clasificación: Límites de plasticidad.

Granulometría.

b) Calidad: Peso volumétrico máximo.

Valor Relativo de Soporte.

c) Diseño: Determinación de Valor Relativo de Soporte.

III. Base y Sub- base.

a) Clasificación: Límites de plasticidad.

Granulometría.

b) Calidad: Peso volumétrico máximo.

Valor Relativo de Soporte.

- c) Diseño: Si se desea hacer un diseño estructural por capas, deberán realizarse las pruebas indicadas para la capa subrasante.

IV. *Carpeta asfáltica.*

- a) Clasificación: Límites de plasticidad.

Granulometría.

- b) Calidad: Pruebas de desgaste y/ o alterabilidad.

- **Técnicas, Procedimientos y Prácticas de Muestreo**

El muestreo e identificación de material en el subsuelo envuelve completas técnicas competentes por muchos procesos diferentes e interpretaciones. Estas están influenciadas por; condiciones geológicas y geográficas, propósito de investigación y por el trasfondo, aprendizaje y experiencia ingenieril. Algunos de estos procesos se rigen con la norma ASTM D 420 - 69 (investigación y muestreo de suelos y rocas para procesos ingenieriles).

Las armas de la exploración para localización y evaluación de bancos son la fotointerpretación, los sondeos y la prospección geofísica. Como quiera que rara vez se requiera explorar a profundidades grandes, mayores de 10 m, los métodos de sondeo preliminar y definitivo pueden no ser diferentes. El pozo a cielo abierto, la posteadora y los barrenos helicoidales son los métodos más empleados en suelos. En bancos de roca, lo normal es atenerse en mucho a los resultados del reconocimiento preliminar, extrayendo de él normas de juicio en cuanto a la extensión del banco y al volumen de material disponible; la razón es que la exploración en roca requiere del uso de métodos rotatorios, con máquinas de perforación, todo lo cual resulta costoso y no suele considerarse necesario más que en casos importantes en que existan incertidumbres de consideración.

Los estudios de suelos normalmente no se realizan en los bancos de explotación, esto se debe a los gastos en el análisis y tiempo de realización que implican estos, sin embargo proporcionan el tipo de material de extracción, por exploraciones

cortas del sitio; y justamente la necesidad de realizar ensayos sobre los suelos, está originada por el deseo de objetivar su caracterización cuantificando sus propiedades, comparando el suelo en cuestión con los utilizados en otras obras, pudiendo predecir de cierta forma su comportamiento general. Es por esto que para que un estudio de suelos sea bueno, debe cumplir varias condiciones:

- ✚ Sencillez (un ensayo complejo y largo solo tendría sentido si fuese completamente determinante).
- ✚ Respetabilidad (un ensayo debe dar el mismo resultado ejecutado por cualquier persona con experiencia).
- ✚ Reproducibilidad (un ensayo debe dar el mismo resultado ejecutado en cualquier laboratorio con experiencia).
- ✚ Bajo coste en relación con el del material.
- ✚ Debe referirse a una cualidad significativa.

- **Explotación de Bancos**

La explotación de cualquier banco de préstamo debe estar de acuerdo con las especificaciones establecidas en las Normas Técnicas Ambientales para la Utilización de Material de Bancos de Préstamo para la construcción (NTON 05-01602). Los métodos de explotación deben minimizar los efectos visuales y sonoros sobre los transeúntes, y deben facilitar el cierre de la cantera al terminar la explotación (cualquier capa de suelo superficial removida inicialmente debe ser almacenada para usarse en la restauración del sitio). Las medidas específicas para este fin se indican en el Plan de Abandono incluido por separado en el informe del Plan de Manejo Ambiental.

Existen dos factores primordiales para que un banco pueda ser explotado:

- 1) La certeza de que el material que posee el yacimiento es apto para ser utilizado ya sea en la producción de agregados o en la construcción de terrazas y capas de pavimento.

- 2) Y, que además posea la cantidad suficiente de material por la cual se puedan satisfacer las necesidades del contratista.

La explotación de bancos de rocas o suelos se hace utilizando determinados equipos con características y usos bien establecidos por la experiencia previa de construcción. La selección de equipos adecuados para un caso particular será función de tres factores fundamentales:

1. La disponibilidad de equipo.
2. El tipo de material por atacar.
3. La distancia del acarreo del material.

Establecida la clase de equipo, su tamaño está en función del volumen de la obra por ejecutar, del tiempo en que dicha obra debe realizarse y del espacio disponible para las maniobras. La explotación debe limitarse a los volúmenes planificados en los planos constructivos. No obstante, los impactos potenciales para esta actividad están asociados con cambios al drenaje natural, el deterioro de la calidad de agua, contaminación de agua por partículas de suelo provenientes de movimientos de tierra y afectación de hábitat natural en el sitio. El contratista deberá gestionar y negociar con el propietario del banco el acceso y derecho de explotación, los acuerdos deben ser redactados en un documento que estipule los compromisos adquiridos, volumen de explotación, condiciones de recepción y condiciones finales del sitio.

El uso de fuentes de abastecimiento de materiales locales como lo son los bancos de préstamo puede dar lugar a importantes ahorros en los costos de un proyecto, en comparación con el costo de acarreo desde fuentes lejanas (generalmente comerciales). No obstante, la calidad del material del banco de préstamo debe ser la adecuada. Las fuentes pueden ser depósitos de material granular, adyacentes al camino o dentro del derecho de vía. Las investigaciones, pruebas y ensayos de los materiales, constituyen el vehículo idóneo para conocer las propiedades de los materiales y su comportamiento, así como las técnicas constructivas a emplear, según sea el caso.

Sin embargo, existen factores limitantes en cuanto se refiera al aspecto económico que muchas veces modifican la necesidad de tal material en función de la economía que estos representan como, lo es la facilidad de obtención, factor determinante para la selección de materiales debido a que un material de difícil acceso resulta ser más caro, se consigue solamente en determinados lugares y generalmente es más escaso; otro factor de doble impacto repercusivo es el transporte, dado que la facilidad de obtener un material lo abarata o lo encarece, resultando entonces ser lo más racionalmente posible emplear materiales locales, también aparece el costo de acuerdo a su uso, determinando que a veces no resulte práctico emplear materiales caros en obras previsionales; y finalmente aparecen los costos de mantenimiento que representan una consecuencia directa de la selección del material de acuerdo con su uso, puesto que depende del carácter provisional o permanente de la obra.

El contratista en coordinación con el dueño del Proyecto deberán presentar a las autoridades pertinentes un plan de explotación del banco y obtener los permisos ambientales de explotación ante el MARENA, el omitir esto será motivo de sanciones. Al inicio de la explotación todo material de descapote debe ser almacenado para ser reincorporado al momento del cierre del banco.

- **Repercusiones Ambientales Producidas por los Bancos de Materiales**

- ✚ Alteración al paisaje natural por efecto de explotación y extracción de material selecto de áreas de bancos de préstamo.
- ✚ Cambios a la escorrentía superficial o drenaje natural por trabajos de explotación.
- ✚ Posibles cortes de vegetación incluyendo arboles existentes en la zona intervenida.
- ✚ Generación de polvo y ruido por efecto de equipo de explotación.

- ✚ Riesgos de accidentes y molestia a pobladores que habiten en las proximidades de los bancos de préstamo debido a maquinaria en movimiento.
- ✚ Perdida de la capa superficial de suelo por descapote del área a intervenir.
- **Medidas a Seguir por el Contratista, Supervisor y Dueño del Proyecto**
- ✚ Se evitará el corte de árboles de interés biológico, si esto es inevitable se deberán obtener los permisos para corte; de la autoridad correspondiente.
- ✚ Como medida compensatoria, se procederá al final de la explotación a reforestar las áreas afectadas, la que estará en dependencia del número de árboles tumbados.
- ✚ Es indispensable que al final de la explotación el banco quede re-conformado de acuerdo a la topografía del sitio.
- ✚ Identificar alternativas de sitios de botaderos para seleccionar los más adecuados y someterlos a la Supervisión del proyecto para su verificación y aprobación.

Se debe contar con la autorización por escrito entre el propietario y el constructor indicando los compromisos adquiridos.

2.4 Generalidades de los Materiales de Bancos Estudiados

Dado que los bancos de estudio están siendo explotados en la actualidad, el muestreo realizado se redujo a tomar muestras representativas del material almacenado en el frente de explotación de los bancos; las muestras recolectadas fueron de tipo alterado; constituidas por el material disgregado o fragmentado, en las que no se tomaron precauciones especiales para conservar características de humedad y estructura, sino que solamente -las muestras - fueron depositadas en sacos y transportadas al laboratorio en forma adecuada.

2.4.1 Escoria Volcánica

Uno de los bancos más conocidos de este tipo de material es el famoso cerro frente al parque La Piedrecitas, que actualmente está cerrado para la explotación del recurso. También está otro en el costado norte del Plantel de Batahola que se está explotando con mucho cuidado, dada la fragilidad del suelo; cabe señalar que estos bancos ya han cesado su explotación por agotamientos de sus minas o en algunos casos su explotación es mínima. Uno de los bancos que actualmente se encuentra en explotación y es nuestro objeto de estudio es el Cerro Talpetate, conocido por los lugareños como Cerro El Hormigón, ubicado frente al Centro Turístico Xiloá. Éstas son vetas naturales que han sido explotadas, y son de las pocas que existen en Managua. A estos materiales se les tiene que hacer un estudio para comprobar su calidad y resistencia para su utilización. En el 2005 su extracción y consumo se disparó considerablemente con respecto a 2004 y 2003. Desde 1997, cuando se extrajeron 27 mil metros cúbicos de hormigón, la producción disminuyó, hasta 10,200 metros cúbicos en el 2002, 4,500 metros cúbicos en 2003, y los 8,200 metros cúbicos en el año 2004. Pero hasta marzo del 2005, según el Banco Central de Nicaragua (BCN), se extrajo 10.1 mil metros cúbicos, lo que hace prever un alto consumo del producto en la actualidad.

En noviembre del 2003 el Ministerio de Fomento, Industria y Comercio (MIFIC) y el Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales (MARENA) autorizaron a la empresa Hispánica, encargada de la construcción de la carretera Ticuantepe-Granada, la concesión para extraer 800 metros cúbicos de hormigón con autorización de extraer hasta 20 mil metros cúbicos, en un área de 3.49 hectáreas, en el lugar conocido como La Barranca. Tenemos conocimiento, de que potentes estratos de hormigón volcánico negro se encuentran en la zona de Villa Fontana hacia el sur pasando por el colegio Centroamérica, Santo Domingo, San Judas, Intermezzo del Bosque; donde según investigaciones geotécnicas se han encontrado estratos mayores a los 15 metros de espesor.

- **Definición**

La escoria volcánica puede encontrarse en dos variedades principales que son hormigón rojo y negro, en colores perfectamente definidos o mezclados, como producto de la erupción y posterior colapso de los volcanes. Los bancos de hormigón negro presentan partículas de mayor diámetro que el de hormigón rojo. Este material es de origen volcánico y se obtiene directamente de banco y se puede suministrar tamizado o en bruto. Es un agregado ligero y es el equivalente de basalto de materiales volcánicos, por lo que también se conoce como la lava de basalto. A veces se llama ceniza volcánica.

Es muy rico en partículas de vidrio volcánico que le da alta porosidad y baja densidad. Se forma cuando las gotas de lava con carga de gas son arrojados al aire durante una erupción, cayendo como una roca volcánica oscura que contienen cavidades embaladas por burbujas de gas atrapado. Los materiales volcánicos de escoria son típicamente de color rojizo a negro, sobre todo debido a su alto contenido de hierro. La superficie de algunas escorias volcánicas puede tener un color oscuro verde iridiscente, la oxidación puede dar lugar a un profundo color rojizo-marrón.

- **Resistencia**

Las escorias presentan un alto desempeño sísmico, contracción baja y alta capacidad de deformación así como baja densidad. Sin embargo de una amplia variedad de suelos que subyacen a la ciudad de Managua, se llegó a la conclusión de que existen tres tipos de suelos totalmente inestables, por sus características físico-mecánicas y baja capacidad de carga, entre los que figura el hormigón negro, el cual presenta textura gravo-areno-limosa (GM) o bien areno-limosa (SM). Ya son muchos los casos en los que sobre estos suelos se han emplazado estructuras las cuales sufrieron daños severos y en algunos casos catastróficos.

- Utilización

En el periodo comprendido 2000 - 2004 el hormigón rojo se ha utilizado como base en la construcción de carreteras, ha mostrado un comportamiento discreto. Actualmente el Hormigón se utiliza como base o sub-base para la construcción de carreteras, siempre y cuando se combine con el material adecuado para estabilizar la base; tiene mucha demanda y se utiliza en mezcla con material selecto, en proporciones de 60 % de Hormigón y 40 % de Material Selecto, a veces se puede utilizar en proporciones iguales de 50 % Hormigón y 50 % de Material Selecto, según sea las especificaciones para formar bases o subbases de calles, también necesarios en amarres y filtrantes. Así mismo las investigaciones comprueban que se puede fabricar concreto con materiales de peso ligero, como lo es el hormigón rojo, con las mismas características que el concreto de peso normal y a un costo aproximado del orden del 20% menor que el del concreto hecho con materiales de peso normal.

En tal sentido se aclara que el hormigón no se utiliza combinado con el asfalto para recubrir carreteras, debido a que no reúne la calidad adecuada. Lo mejor es utilizar este material de acuerdo a la siguiente recomendación. La base va por estratos, si se va a hacer una carretera nueva o rehabilitar una ya existente, se tiene que hacer un tratamiento de pre-nivelación. Posteriormente se hace una sub-base con material que puede encontrarse en el sitio de la construcción, con lo cual se tiene el primer estrato. Después viene el hormigón, en dependencia del tipo de carretera. Esto va a depender de la disponibilidad del material y de una buena máquina trituradora. Hay que precisar que en la literatura de la construcción el hormigón tiene otra connotación y está referida a lo que conocemos como concreto o materiales similares. “Para rellenar un predio, un solar o una casa no sirve, ya que es un material duro y poroso”.

En términos comerciales el hormigón tiene poco mercado como industria, ya que su utilización es básicamente para la construcción de carreteras, por lo que su precio es bastante bajo en comparación con la mezcla Hormigón-Material Selecto cuyo valor se cotiza entre 140 a 180 córdobas. Este material se utiliza para la

estabilización de base y como material absorbente de humedad, ya que permite que el agua de lluvia se escurra. El precio del hormigón actualmente se encuentra entre 50 a 60 córdobas el metro cúbico en el comercio popular. En dependencia de la calidad del material se puede utilizar también como subbase. A finales de los años noventa este material tuvo algunos de sus picos de explotación, ahora al parecer vuelve a ser explotado debido al desarrollo de la Infraestructura Vial, principalmente en la zona del Pacífico donde se encuentra dicho material.

2.4.2 Material Selecto

Material seleccionado por sus características que se adecúa al trabajo que se va a realizar y en sustitución de material inadecuado. Posee una textura areno-limosa (SM) y limo-arenosa (ML) hallándose distribuido en algunos distritos de la ciudad de Managua y sus alrededores como Ticuantepe, Tipitapa, Esquipulas, Sabana Grande y la zona del Aeropuerto.

- Utilización

El material selecto de color grisáceo presenta características físico-mecánicas y capacidades de carga idóneas para la construcción de obras de ingeniería; siempre y cuando se le combine con un buen agregado pétreo. Actualmente el material selecto, es utilizado en construcciones de edificios, carreteras y viviendas, camas de sistemas de alcantarillado, entre otros.

CAPÍTULO III: ENSAYES DE LABORATORIO PARA EVALUACIÓN DE BANCOS

Tabla III.1 Ubicación de los Bancos a muestrear y clasificación del material de explotación.

Nombre del Banco	Ubicación	Tipo de material
San Isidro Libertador	Comarca San Isidro, Finca San Rafael	Selecto
Mina Sandino	Pista hacia Ciudad Sandino	Selecto
La Veta	Km 8 Carretera Nueva a León	Selecto
Cerro El Hormigón	Xiloá (km 18)	Hormigón

Fuente: Elaboración Propia.

3.1 Análisis Granulométrico del Suelo (Método Mecánico: ASTM D 421 – 58, D 422 – 63; AASHTO T 27 – 88, T 87 – 70, T 88 – 70)

- Antecedentes

La granulometría es quizá la propiedad más característica de un suelo, distinguiéndose al mismo según los tamaños de sus partículas: grava, arena, arcilla, limo. En ingeniería, es necesario determinar la granulometría cuantitativamente conociendo la proporción en la que intervienen los distintos tamaños de partículas en una porción de suelo.

La granulometría por tamices se subdivide en la granulometría grande que va desde 3" hasta la malla (o tamiz) N° 4 y que se efectúa con una muestra de suelo seca que se tamiza manual o mecánicamente de forma descendente a través de los tamices anteriormente señalados. La granulometría pequeña se lleva a cabo por medio de la selección de una muestra representativa que paso la malla N° 4. Este procedimiento también se conoce como Lavado.

La determinación de las dimensiones de las partículas de suelo y de las proporciones relativas en que ellas se encuentren, se representa gráficamente en la curva granulométrica. Su esquema se traza por puntos en un diagrama en el cual sobre el eje de las ordenadas se indican los porcentajes en peso, de las partículas que pasan, y en el eje de las abscisas se representan las dimensiones de las partículas. La forma de la curva granulométrica indica la relación entre los

tamaños, debido a esto, los suelos uniformes están representados por líneas casi verticales, y los suelos bien graduados por curvas con forma de S, que se extiende por varios ciclos de escala logarítmica.

El procedimiento de ejecución del ensaye es simple y consiste en tomar una muestra de suelo de peso conocido, colocarlo en el juego de tamices ordenados de mayor a menor abertura, pesando los retenidos parciales de suelo en cada tamiz. Esta separación física de la muestra en dos o más fracciones que contiene cada una de las partículas de un solo tamaño, es lo que se conoce como “Fraccionamiento”.

- **Equipo a utilizar**

- ✓ Juego de tamices 3”, 2”, 1 ½”, 1”, ¾”, 3/8”, N° 4, N° 10, N° 40, N° 200, tapa y fondo.
- ✓ Balanza de 0.1gr de sensibilidad.
- ✓ Mazo de madera.
- ✓ Horno con temperatura constante de 100° – 110° C.
- ✓ Taras.

- **Procedimiento**

a) Material mayor que el tamiz N° 4

1. El material retenido en el tamiz N° 4, se pasa a través de los tamices, 3”, 2”, 1½”, 1”, ¾”, 3/8”, N° 4 y fondo, realizando movimientos horizontales y verticales.
2. Pese las fracciones retenidas en cada tamiz y anótela en el registro correspondiente.

b) Material menor que el tamiz N° 4

1. Ponga a secar la muestra en el horno a una temperatura de 105° a 110° C por un período de tiempo de 12 a 24 horas.

2. Deje enfriar la muestra a temperatura ambiente y pese la cantidad requerida para realizar el ensaye.
Si el suelo es arenoso se utiliza aproximadamente 200grs.
Si el suelo es arcilloso se utiliza aproximadamente 150grs.
3. Disgregue los grumos (terrones), del material con un pisón de madera para evitar el rompimiento de los gramos.
4. Coloque la muestra en una tara, agréguele agua y déjela remojar hasta que se puedan deshacer completamente los grumos.
5. Se vacía el contenido de la tara sobre el tamiz N° 200, con cuidado y con la ayuda de agua, lave lo mejor posible el suelo para que todos los finos pasen por el tamiz. El material que pasa a través del tamiz N° 200, se analizará por otros métodos en caso sea necesario.
6. El material retenido en el tamiz N° 200 después de lavado, se coloca en una tara, lavando el tamiz con agua.
7. Se seca el contenido de la tara en el horno a una temperatura de 100° – 110° C por 24 horas.
8. Con el material seco en el paso anterior, se coloca el juego de tamices en orden progresivo, N° 4, N° 10, N° 40, N° 200 y al final el fondo, vaciando el material previamente pesado.
9. Se agita el juego de tamices horizontalmente con movimientos de rotación y verticalmente con golpes secos de vez en cuando. El tiempo de agitación depende de la cantidad de finos de la muestra, pero por lo general no debe ser menor de 15 minutos.
10. Inmediatamente realizado el paso anterior pese las fracciones retenidas en cada tamiz, y anótela en el registro correspondiente.

Sin embargo, debido a que el menor tamaño de tamiz que se utiliza corrientemente es el 0.075 mm (Malla N° 200), el análisis mecánico está restringido a partículas mayores que ese tamaño que corresponde a arenas limpias finas. Por lo tanto si el suelo contiene partículas menores que ese tamaño la muestra de suelo analizada debe ser separada en dos partes, para análisis mecánico y por vía húmeda (hidrometría).

Por medio de lavado por el tamiz N° 200 y lo que pase por este tamiz será sometido a un análisis granulométrico por vía húmeda, basado en la sedimentación.

Tabla III.2 Tamaño de las aberturas de los Tamices Normalizados.

Tamiz	Abertura (mm)
3"	76.200
2"	50.800
1 ½"	38.100
1"	25.400
¾"	19.100
⅜"	9.520
N° 4	4.760
N° 10	2.000
N° 40	0.420
N° 200	0.075

Fuente: Prácticas de Laboratorio de Mecánica de Suelos, UNI. Pag. 39.



Imagen 1. Tamices utilizados en el Laboratorio.



Imagen 2. Elaboración del Ensaye Granulométrico para granos gruesos.



Imagen 3. Balanza de 0.1 gr de sensibilidad, utilizada en el Laboratorio.

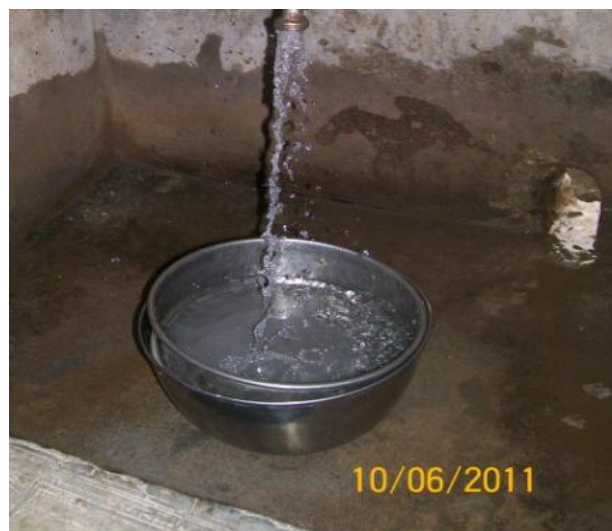


Imagen 4. Sitio de realización del Ensaye Granulométrico para granos finos.

3.2 Pesos Volumétricos o Pesos Unitarios (ASTM C - 29; AASHTO T - 19)

La importancia de los pesos volumétricos para los suelos recae en conocer qué grado de compactación tendrán los suelos, a mayor peso volumétrico existente mayor será la compactación. Los pesos unitarios sirven para determinar el porcentaje de huecos existentes en el árido.

El peso unitario de un árido es la relación entre el peso de una determinada cantidad de este material y el volumen ocupado por el mismo, considerando como volumen al que ocupan las partículas de áridos y sus correspondientes poros y espacios inter granulares.

Existen dos valores para esta relación, dependiendo del sistema de acomodamiento que se haya dado al material antes del ensaye. La denominación que se le da a cada uno de ellos será peso volumétrico seco suelto y peso volumétrico seco compacto.

Ambos sirven para establecer relaciones entre volúmenes y pesos de este material, además se utiliza para estimar el peso medio por unidad de volumen de los materiales, refiriéndose al volumen aparente de los mismos materiales.

- **Pesos Volumétricos Seco Suelto**

El peso unitario suelto se usará para la conversión de peso a volumen, o volumen a peso en las dosificaciones de hormigón.

- **Equipo a utilizarse**

- Un molde de volumen y peso conocidos.
- Pala pequeña o cucharón.
- Regla metálica (enrazadora).
- Balanzas manuales.
- Charolas de metal.

- **Procedimiento**

- Seleccionar la muestra representativa del suelo a estudiar.
- Tomar nota del peso y volumen del molde que se utilizará.
- Procurando no compactar, llenar el molde hasta rebosar. Se debe recordar que siempre el molde deberá llenarse a una altura de caída estándar para no afectar los resultados.
- Luego enrasar el material con la regla metálica, siempre del centro hacia los lados, en nuestro caso por trabajar con suelo fino.
- Anotar el peso del material con el molde para cada determinación.
- Se repite este procedimiento hasta tres veces para obtener un promedio.

- **Pesos Volumétricos Seco Compacto**

El peso unitario compacto se usará para el conocimiento de las cantidades de materiales apilados y que están sujetos a acomodamiento o asentamiento provocado por el tránsito sobre ellos o por la acción del tiempo.

- **Equipo a utilizarse**

- Un molde de volumen y peso conocidos.
- Pala pequeña o cucharón.
- Varilla punta de bala para compactar de $\frac{5}{8}$.
- Balanzas manuales.
- Charolas de metal.
- Regla metálica (enrazadora).

- **Procedimiento**

- Considerando que el recipiente siempre es el mismo, ya contamos con los datos de peso y volumen del mismo.

- Se vierte el material en tres capas a un tercio de altura una con respecto a la otra.
- Por cada capa el suelo deberá compactarse con 25 golpes.
- Una vez lleno el molde, rellenamos los espacios que hayan quedado del varillado y enrasamos.
- Finalmente, se toma el peso del material ya compactado, repitiendo el procedimiento hasta por tres veces para obtener una media aritmética.

*-Este Procedimiento de Ensaye fue tomado de los apuntes del Laboratorio de
INGENICA-*



Imagen 5. Realización del Ensayo Peso Volumétrico Seco Suelto.



Imagen 6. Realización del Ensayo Peso Volumétrico Seco Varillado.



Imagen 7. Enrase del Material por medio de la regla metálica para el Ensaye de Peso Volumétrico Seco Varillado.



Imagen 8. Equipos Utilizados en el Ensaye de Pesos Volumétricos.

3.3 Gravedad Específica (ASTM D - 558, D 854 - 58; AASHTO T 93 - 86, T 100 - 70)

Se define como Gravedad Específica de los Suelos, a la relación del peso en el aire, de un volumen dado de partículas sólidas, al peso en el aire de un volumen igual de agua destilada a una temperatura de 4° C.

El valor de la Gravedad Específica de un Suelo queda expresado por un valor abstracto; además de servir para fines de clasificación, interviene en la mayor parte de los cálculos de la Mecánica de Suelos.

La densidad de los suelos varía comúnmente entre los siguientes valores:

Tabla III.3 Proporciones de densidad, los cuales dependen del tipo de material presentes en el medio.

Suelos de Origen Volcánico	2.20 a 2.50
Suelos Orgánicos	2.50 a 2.65
Arenas y Gravas	2.65 a 2.67
Arenas Limosas	2.67 a 2.70
Limos Inorgánicos	2.67 a 2.72
Arcillas poco Plásticas	2.72 a 2.78
Arcillas medianamente plásticas y muy plásticas	2.78 a 2.84
Arcillas Expansivas	2.84 a 2.88
Suelos con Abundante Hierro	3.00

Fuente: Prácticas de Laboratorio de Suelos, UNI, Pag. 49.

- Equipo a utilizar

- ✓ Matraz aforado de cuello largo (frasco volumétrico), de 500 cc. de capacidad a temperatura de calibración de 20° C.
- ✓ Agua Destilada.
- ✓ Dispositivo de succión neumática, capaz de producir el grado de vacío (opcional).
- ✓ Balanza de un centésimo de grado de aproximación y capacidad de 1 Kg.
- ✓ Horno a temperatura constante de 100 a 110° C.
- ✓ Un desecador.
- ✓ Pipeta ó cuenta-gotas (gotero).
- ✓ Embudo de vidrio de conducto largo.

- Procedimiento de Ensaye en Suelos no Cohesivos (Granulares)

1. El material a ensayar se criba por la malla N° 10 y se pesan 50 gr, aproximadamente de suelo previamente secado al horno y enfriado (W_s), para luego depositarlo en una tara y dejarlo saturando por 24 horas.
2. Se llena el frasco volumétrico de agua hasta la marca de enrase para posteriormente pesarlo (W_{fw}).

3. Con $\frac{1}{4}$ de agua en el frasco volumétrico se procede a verter el material con ayuda de la pipeta y embudo, eliminando los espacios vacíos que posee con ayuda de la bomba de cero vacío en un periodo de 15 min.
4. Se añade con cuidado agua destilada hasta la marca de enrase, verificando que no quede aire atrapado en la muestra; si existiese aire atrapado en la muestra, elimínelo por el método utilizado en el paso anterior.
 - a. La presencia de materia orgánica puede producir el efecto de aire no removido a causa de los gases que se forman en contacto con el agua. La materia orgánica podrá descubrirse por olor y por la formación de una película oleaginosa en la superficie del agua.
 - b. Si ésta materia existe el método del vacío debe sustituirse por más efectivo para remover gases; éste método puede ser ebullición de la suspensión de un baño de Glicerina durante 30 min., añadiendo de cuando en cuando más agua destilada para impedir la calcinación de la muestra, en todo momento el frasco volumétrico debe estar lleno hasta su mitad; tras este período déjese enfriar el frasco a la temperatura ambiente y aplíquese lo escrito anteriormente en el acápite a.
5. Desairada la suspensión añádase agua destilada hasta que el borde interior del menisco coincida con la marca de aforo.
6. Verifique si el menisco está bien enrasado, y que el frasco en su parte exterior esté seco y limpio; pésese el frasco mas el agua más el suelo contenido en él (W_{fsw}), con una aproximación de 0.1 gr.
7. Saque el agua y el suelo del frasco y déjese limpio el frasco.



Imagen 9. Aparato “Bomba de Vacío”.



Imagen 10. Elaboración de la extracción de aire contenida en el material por medio de la Bomba.



Imagen 11. Equipos utilizados para el Ensaye de Gravedad Específica.

3.4 Límites de Atterberg (AASHTO T 89 - 68, T 90 - 70; ASTM 423 - 66, D 424 - 59)

- Antecedentes

La consistencia del suelo es usualmente definida como las manifestaciones de las fuerzas físicas de Cohesión y Adhesión, actuando dentro del suelo a varios contenidos de humedad. Ya que la adhesión se refiere a la atracción de la fase líquida sobre la superficie de la fase sólida. Las moléculas de agua por tanto, pueden adherirse tanto a la superficie de las partículas del suelo, como a los objetos que se ponen en contacto con el suelo y la cohesión en suelos mojados es la atracción que existe entre las moléculas de la fase líquida que están como puentes (o films) entre partículas adyacentes.

Estas manifestaciones incluyen:

- a) El comportamiento con respecto a la gravedad, presión y tensión.
- b) La tendencia de la masa del suelo de adhesión a cuerpos extraños o sustancias.
- c) Las sensaciones que son evidenciadas y sentidas por los dedos del observador.

Esta definición implica que el concepto de consistencia del suelo incluye algunas propiedades del suelo, como resistencia a la compresión, friabilidad, plasticidad, viscosidad. Generalmente este tipo de suelo que presenta consistencia plástica en un rango determinado de humedad se llaman arcillas.

En mecánica de suelos puede definirse la plasticidad como la propiedad de un material por la cual es capaz de soportar deformaciones rápidas sin rebote elástico, sin variación volumétrica apreciable y sin desmoronarse ni agrietarse. Observaciones de campo e investigaciones experimentales indican que la consistencia del suelo varía con textura, materia orgánica, el total de material coloidal, estructura (en cierto grado) y contenido de humedad.

Los suelos muestran comportamientos distintos según los contenidos de humedad; a bajo contenido de humedad el suelo es duro y muy coherente a causa del efecto de cementación entre partículas secas, si el suelo es trabajado con estas condiciones se producirán terrones; Cuando el contenido de humedad aumenta, la cohesión de los films de agua alrededor de las partículas hace que el suelo permanezca unido y el suelo se vuelva plástico.

Un suelo seco a una compactación normal generalmente exhibe una extremada dureza o coherencia. La medida de esta coherencia va a variar con la estructura del suelo, ya que, la porosidad determina el número de partículas por unidad de volumen.

- **Determinación del Límite Líquido (LL)**

El límite se define como el contenido de humedad expresado en porcentaje con respecto al peso seco de la muestra, que debe tener un suelo moldeado para una muestra del mismo en que se haya moldeado una ranura de dimensiones Estándar, al someterla al impacto de 25 golpes bien definidos se cierre sin resbalar en su apoyo.

- **Equipo a utilizar**

- ✓ Aparato de Arturo Casagrande, incluyendo la solera plana y el ranurador trapezoidal.
- ✓ Espátulas flexibles.
- ✓ Cápsula de porcelana.
- ✓ Tamiz N° 40.
- ✓ Atomizador.
- ✓ Balanza con sensibilidad de 0.01 gr.
- ✓ Horno con temperatura constante de 100° a 110° C.
- ✓ Taras con su tapa.

- Procedimiento

Los ensayos de consistencia se hacen solamente con la fracción de suelo que pasa por el tamiz N° 40.

1. Después de secada la muestra de suelo, se criba a través del tamiz N° 40 desechándose el que quede retenido.
2. Antes de utilizar la “Copa de Casagrande”, debe ser ajustada (calibrada), para que la copa tenga una altura de caída de 1 cm, exactamente.
3. Del material que pasó por el tamiz N° 40 se toman aproximadamente unos 100 gr se colocan en una cápsula de porcelana y con una espátula se hace una mezcla pastosa, homogénea y de consistencia suave agregándole una pequeña cantidad de agua durante el mezclado.
4. Parte de esta mezcla se coloca con la espátula en la copa de Casagrande formando una torta alisada de un espesor de un 1 cm, en la parte de máxima profundidad. Una altura menor aumenta el valor del límite líquido.
5. El suelo colocado en la “Copa de Casagrande” se divide en la parte media en dos porciones utilizando para ello un ranurador, de manera que permanezca perpendicular a la superficie inferior a la copa.
6. Después de asegurarse de que la copa y la base están limpias y secas, se da vuelta a la manija del “Aparato de Casagrande”, uniformemente a razón de 2 golpes por segundo, contando el número de golpes requeridos hasta que se cierre el fondo de la ranura en una distancia de 1 cm, si la ranura se cierra antes de los 10 golpes, se saca el material se vuelve a mezclar y se repiten los pasos 4, 5 y 6.
7. Después que el suelo se ha unido en la parte inferior de la ranura, se toman aproximadamente unos 10 gr del suelo; se anota su peso húmedo, el N° de golpes obtenidos y se determina el peso seco.

8. Repita los pasos 2, 4, 5, 6 y 7; con el propósito de obtener puntos menores de 25 golpes y mayores de 25 golpes.
9. Determine el porcentaje de humedad correspondiente a cada número de golpes y se construye la curva de fluidez en papel semi-logarítmico.
10. El límite líquido define cuando el contenido de agua en la curva de fluidez corresponda a 25 golpes.

- Determinación de Límite Plástico (LP)

El límite plástico se define como el contenido de humedad, expresado en por ciento, cuando comienza agrietarse un rollo formado con el suelo de 3 mm de diámetro, al rodarlo con la mano sobre una superficie lisa y absorbente.

- Equipo a utilizar

- ✓ Vidrio esmerilado o papel absorbente.
- ✓ Taras
- ✓ Balanza con sensibilidad de 0.01 gr.
- ✓ Horno con temperatura constante de 100° a 110° C.

- Procedimiento

1. Se toma aproximadamente la mitad de la muestra que se usó en límite líquido, procurando que tenga una humedad uniforme cercana a la humedad óptima, amáselo con la mano y ruédelo sobre una superficie limpia y lisa, como una hoja de papel o un vidrio hasta formar un cilindro de 3 mm, de diámetro y de 15 a 20 cm de largo.
2. Se amasa la tira y se vuelve a rodar, repitiendo la operación tantas veces como se necesite para reducir, gradualmente, la humedad por evaporación, hasta que el cilindro se empiece a endurecer.

3. El límite plástico se alcanza cuando el cilindro se agrieta al ser reducido a 3 mm de diámetro.
4. Inmediatamente se divide en proporciones y se ponen los pedazos en dos taras.
5. Se pesan en la balanza de 0.01 gr, y se registra su peso.
6. Se introduce la muestra en el horno por un período aproximado de 24 horas y se determina su peso seco.
7. Con los datos anteriores se calcula el contenido de agua en porcentaje. Si la diferencia de los dos porcentajes no es mayor que 2 % se promedian y en caso contrario se repite el ensaye.
8. El promedio es el valor en porcentaje del Límite Plástico.



Imagen 12. Equipos que se utilizan para la realización del ensaye de los Límites de Atterberg.

3.5 Ensaye “Proctor Estándar” (AASHTO T - 180, T 99 - 90, T 99 - 70; ASTM D 698, O - 70)

- Antecedentes

La compactación es el procedimiento de aplicar energía al suelo suelto para eliminar los espacios vacíos, aumentando así su densidad y en consecuencia, su capacidad de soporte (aumento en la resistencia) y estabilidad entre otras propiedades (reducción de volumen, disminución en la compresibilidad y permeabilidad). Existe una amplia variación en las características de los diferentes suelos y las propiedades mecánicas de cada suelo individual se ven afectadas por su contenido de humedad y su densidad.

La compactación reduce el volumen de aire en un suelo, pero nunca es posible eliminar todos los vacíos, el suelo a compactar deberá estar parcialmente saturado. Si se compacta un suelo por diversos métodos, la densidad obtenida será posiblemente diferente para cada uno; del mismo modo, si distintos suelos se compactan empleando el mismo método es de esperar que los resultados obtenidos sean también distintos. Esto indica que el proceso de compactación de un suelo se encuentra afectado por una serie de factores, de los cuales los más determinantes son:

1. **Contenido de humedad del suelo:** Ayuda a determinar con respecto al ensaye de laboratorio el valor óptimo del mismo para obtener la mayor densidad experimental.
2. **Energía de compactación:** Es la que se entrega al suelo por unidad de volumen durante el proceso de compactación. En las pruebas dinámicas de laboratorio, en las que el suelo se somete a cierto número de impactos de un pisón normalizado dicha energía se determina mediante la expresión:

$$E_c = \frac{W * h * N * n}{V}$$

Donde: E_c = Energía de compactación.

W = Peso del Pisón.

h = Altura de caída del Pisón.

N = Numero de Capas.

V = Volumen del molde (0.94 lts. aproximadamente).

n = Numero de golpes por capa.

3. **Tipo de suelo:** Se alcanzan mayores densidades a medida que el tamaño de las partículas del suelo que se compacta es mayor.
4. **Método o equipo de construcción utilizados:** El método que se emplee para compactar un suelo es determinante en el resultado que se obtenga. Así, por ejemplo, la compactación de tipo estático ha demostrado ser muy eficiente en suelos granulares al igual que la de tipo vibratorio, mientras que el sistema de amasado es particularmente eficiente para la compactación de suelos cohesivos.
5. **Re-compactación del suelo:** No es recomendable realizarlo, pero generalmente se da en suelos finos, ya que estos debido a las compactaciones tienen una deformación volumétrica del tipo plástico.

No todos los terrenos naturales con los que nos encontramos al proceder a realizar una cimentación son adecuados. Un terreno granular suelto por ejemplo puede suponer asientos elásticos inadmisibles. Lo mismo puede ocurrirle a un terreno cohesivo por motivos de consolidación. Por lo tanto se tendría que proceder a realizar una mejora del suelo.

La compactación no es desde luego el único método de mejora de los terrenos, aunque sí uno de los más económicos y populares. Otros métodos son por ejemplo la inyección, la congelación, la vibroflotación, la pre-compresión, los drenes, la estabilización con materiales como la cal o las cenizas o la construcción de columnas de roca. No se debe confundir la compactación con la consolidación, en la compactación se somete al suelo a un golpeo o empaquetamiento que hace que expulse el aire de sus poros; en la consolidación, fenómeno típico de los

suelos cohesivos saturados, se produce una expulsión gradual del agua de los poros.

Al compactar variamos la estructura del suelo y también algunas de sus propiedades mecánicas. Alguno de los parámetros del suelo que variarán según sea su compactación son la permeabilidad, el peso específico y la resistencia al corte. Con la compactación buscamos unas propiedades adecuadas del suelo de nuestra cimentación así como una uniformidad de éste que siempre disminuirá la posibilidad de que se produzcan asentamientos diferenciales.

De manera que la compactación consiste en un proceso repetitivo cuyo objetivo es conseguir un peso específico para una relación de agua dada tal que se garanticen las propiedades óptimas buscadas. En primer lugar se vierte sobre el suelo natural existente, generalmente en sucesivas capas, un suelo de mejora con la granulometría adecuada. Posteriormente se modifica su humedad mediante desecación o mediante adición de agua y se le transmite energía de compactación mediante apisonado por golpes o presión. Para ello se utilizan diversas maquinarias, generalmente: rodillos – lisos, neumáticos, pata de cabra, vibratorios, etc. –, en función del tipo de terreno y muchas veces de la accesibilidad de éste. El principal objetivo de la compactación es mejorar las propiedades Ingenieriles del material en algunos aspectos:

- a) Aumentar la resistencia al corte, y por consiguiente, mejorar la estabilidad de terraplenes y la capacidad de carga de cimentaciones y pavimentos.
- b) Disminuir la compresibilidad y los asentamientos.
- c) Delimitar la relación de vacíos y reducir la permeabilidad.
- d) Reducir el potencial de expansión y contracción.

Con los ensayos se pretende determinar los parámetros óptimos de la compactación que asegurarán las propiedades del terreno buscadas. Esto se traduce en determinar cuál es la humedad que se requiere para conseguir, con una energía de compactación, la densidad seca máxima que puede tener dicho terreno. A esta humedad se la define como humedad óptima, y es con la que se

consigue la máxima densidad seca, para la energía de compactación dada. Igualmente se define como densidad seca máxima aquella que se obtiene para la humedad óptima.

Se comprueba que al ir aumentando la humedad y compactando, la densidad seca va aumentando hasta llegar a un punto máximo para obtener la densidad seca máxima y la humedad óptima, a partir de este punto un aumento de humedad no supone mayor densidad seca sino al contrario una disminución de ésta.

Tabla III.4 *Descripción de Ensayes Proctor para Compactación.

N	Método - Proctor	Tamaño del Molde (cm)	Volumen del Molde (cm ³)	Peso del Pisón (Kg)	Nº de Capas	Altura de Caída (cm)	Nº de Golpes	Energía de Compactación/Volumen (Kg*m/m ³)
1	Estándar	11.64*10.16	943.33	2.49	3	30.48	25	60.50
3	Modificado	11.64*10.16	943.33	5	5	45.72	25	275.28

El Ensaye Proctor Estándar se refiere a la determinación del peso por unidad de volumen de un suelo que ha sido compactado por un procedimiento definido para diferentes contenidos de humedad.

Existen 4 alternativas para la realización

Tabla III.5 *Especificaciones para el Ensaye Proctor Estándar

CONCEPTO	METODO			
	A	B	C	D
Diámetro del molde (cm)	10.16	15.24	10.16	15.24
Volumen del molde (cm³)	943.3	2124.0	943.3	2124.0
Peso del martillo o pisón (Kg)	2.5	2.5	2.5	2.5
Altura de caída del martillo (cm)	30.48	30.48	30.48	30.48
Numero de golpes del pisón por cada capa	25	56	25	56
Numero de capas de compactación	3	3	3	3
Energía de compactación (Kg-cm/cm³)	6.06	6.03	6.06	6.03
Suelo por usarse Pasa por	100% tamiz Nº 4	100% tamiz 3/8"	El 20% retiene Nº 4	Pasa Nº 100 tamiz 3/4"

*Fuente: Norma 698-91 de la ASTM.

Tabla III.6 Determinación del peso para las muestras en base a los métodos descritos en la Tabla III.5.

METODO	PESO DE MUESTRA
A	3 Kg
B	7 Kg
C	5 Kg
D	12 Kg

*Fuente: Norma 698-91 de la ASTM.

- **Equipo a utilizar**

- ✓ Un molde de compactación. Constituido por un cilindro metálico de 4" de diámetro interior por 4 ½ de altura y una extensión de 2 ½" de altura y de 4" de diámetro interior.
- ✓ Un pisón metálico (martillo Proctor) de 5.5 lb de peso (2.5 Kg) de 5 cm (2") de diámetro.
- ✓ Una regla metálica con arista cortante de 25 cm de largo.
- ✓ Una balanza de 29 Kg de capacidad y 1.0 gr de sensibilidad.
- ✓ Una balanza de 500 gr, de capacidad y de 0.01 gr, de sensibilidad.
- ✓ Un horno que mantenga una temperatura constante entre 100° – 110° C.
- ✓ Charolas metálicas.
- ✓ Biberón de 120 ml.
- ✓ Extractor de muestras.
- ✓ Tara para determinar humedad.

- **Procedimiento**

Se obtiene por cuarteo una muestra representativa, previamente secada al sol y que según el método que se utilizó fue de 3 kilogramos.

- 1) A modo de ensaye de prueba y error, se pesan 500 gr del material a ensayar para realizar una aproximación de la cantidad de agua a utilizarse, mediante una regla de tres, y así poder dosificar el agua necesaria para los 3 Kg.
- 2) Una vez obtenido la cantidad de agua a utilizarse, se revuelve homogéneamente el material tratando que el agua agregada se distribuya uniformemente.
- 3) Pese el molde cilíndrico sin la extensión y anote su peso.
- 4) La muestra preparada se coloca en el molde cilíndrico en tres capas, llenándose en cada capa aproximadamente 1/3 de su altura y se compacta cada capa de la forma siguiente:
 - Se coloca el pistón de compactar con su guía, dentro del molde; se eleva el pistón hasta que alcance la parte superior y se suelta permitiendo que tenga una caída libre de 30 cm, se cambia de posición la guía, se levanta y se deja caer nuevamente el pistón. Se repite el procedimiento cambiando de lugar la guía de manera que con 25 golpes se cubra la superficie. Esta operación de compactación se repite en las tres capas del material.
- 5) Al terminar la compactación de las tres capas, se quita la extensión y con la regla metálica se enraza la muestra al nivel superior del cilindro.
- 6) Se limpia exteriormente el cilindro y se pesa con la muestra compactada anotando su peso. (Peso del material + cilindro).
- 7) Con ayuda del extractor de muestra se saca el material del molde y de la parte central del espécimen se toman aproximadamente 100 gr, y se pesa en la balanza de 0.1 gr, se sensibiliza anotando su peso. (Peso húmedo).

- 8) Deposite el material en el horno a una temperatura de 100° a 110° C por un período de 24 horas, transcurrido este período determínese el peso seco del material.
- 9) El material sacado del cilindro se desmorona y se le agrega agua hasta obtener un contenido de humedad del 3 al 7 % mayor al anterior.
- 10) Se repiten los pasos del 2) al 9) hasta lograr 6 puntos como resultado, que permitan trazar una curva cuya cúspide corresponderá a la máxima densidad para una humedad óptima.

3.6 Ensaye “Proctor Modificado” (ASTM D 1557 - 91, O - 70; AASHTO T 180 - 90, O - 90)

- Antecedentes

Los ensayos más importantes son el Proctor Estándar (o Proctor Normal PN) y el Proctor Modificado, (PM). Ambos sirven para identificar la densidad máxima que puede alcanzar una muestra de suelo propuesta para usarse en terracerías o rellenos. El más empleado es la denominada prueba Proctor Modificado en el que se le aplica mayor energía de compactación que el estándar siendo el que esta más de acuerdo con las solicitudes que las modernas estructuras imponen al suelo. El ensaye de Proctor modificado se crea al crearse también equipos compactadores más pesados que se usan en la pavimentación de carreteras y aeropuertos.

La diferencia fundamental entre el ensayo Proctor Normal y el Modificado estriba en la energía de compactación utilizada. Por tanto, cuando se nos pide un suelo compactado al 90 % Proctor Estándar o Proctor Modificado significa que la compactación en obra debe obtener una densidad seca de al menos el 90 % de la densidad seca máxima obtenida con los correspondientes ensayos. Para garantizar que esto ocurra se suele controlar la densidad de las tongadas mediante ensayos *in situ* durante el proceso de compactación.

Tabla III.7 Especificaciones para el Ensaye Proctor Modificado.

CONCEPTO	METODO			
	A	B	C	D
Diámetro del molde (cm)	10.16	15.24	10.16	15.24
Volumen del molde (cm³)	943.3	2124.0	943.3	2124.0
Peso del martillo o pisón (Kg)	4.54	4.54	4.54	4.54
Altura de caída del martillo (cm)	45.7	45.7	45.7	45.7
Numero de golpes del pisón por cada capa	25	56	25	56
Numero de capas de compactación	5	5	5	5
Energía de compactación (Kg-cm/cm³)	16.49	16.42	16.49	16.42
Suelo por usarse Pasa por	100% tamiz No.4	100% tamiz 3/8"	El 20% retiene No.4	Pasa 100 tamiz ¾"

Fuente: Norma 1557-91 de la ASTM.

- Equipo a utilizar

El equipo para Proctor modificado es igual que el Proctor estándar con la única diferencia siguiente:

- ✓ Un molde de compactación. Constituido por un cilindro metálico de 4" de diámetro interior por 4 ½" de altura y una extensión de 2 ½" de altura y de 4" de diámetro interior.
- ✓ Un pistón o martillo y su guía de 45 cm, de caída y 4.54 kg de peso.
- ✓ Una regla metálica con arista cortante de 25 cm de largo.
- ✓ Una balanza de 29 Kg de capacidad y 1.0 gr de sensibilidad.
- ✓ Una balanza de 500 gr, de capacidad y de 0.01 gr, de sensibilidad.
- ✓ Un horno que mantenga una temperatura constante entre 100° – 110° C.
- ✓ Charolas metálicas.
- ✓ Biberón de 120 ml.
- ✓ Extractor de muestras.
- ✓ Tara para determinar humedad.

- Procedimiento

Se obtiene por cuarteo una muestra representativa, previamente secada al sol y que según el método que se utilizó fue de 3 Kg.

1. Tomando en consideración la proporción de agua utilizada en el Proctor Estándar se procede de la misma manera para el Modificado, se revuelve completamente el material tratando que el agua agregada se distribuya uniformemente.
2. Se pesa el molde cilíndrico sin la extensión y anote su peso.
3. La muestra preparada se coloca en el molde cilíndrico en cinco capas, llenándose en cada capa aproximadamente 1/3 de su altura y se compacta cada capa de la forma siguiente:
 - Se coloca el pistón de compactar con su guía, dentro del molde; se eleva el pistón hasta que alcance la parte superior y se suelta permitiendo que tenga una caída libre de 45.7 cm, se cambia de posición la guía, se levanta y se deja caer nuevamente el pistón. Se repite el procedimiento cambiando de lugar la guía de manera que con 25 o 56 (según el método) golpes se cubra la superficie. Esta operación de compactación se repite en las cinco capas del material.
4. Al terminar la compactación de las cinco capas, se quita la extensión y con la regla metálica se enraza la muestra al nivel superior del cilindro.
5. Se limpia exteriormente el cilindro y se pesa con la muestra compactada anotando su peso (Peso del material + cilindro).
6. Con ayuda del extractor de muestra se saca el material del molde y de la parte central del espécimen se toman aproximadamente 100 gr, y se pesa en la balanza de 0.1 gr, se sensibiliza anotando su peso (Peso húmedo).

7. Deposite el material en el horno a una temperatura de 100° a 110° C por un período de 24 horas, transcurrido este período determínese el peso seco del material.
8. El material sacado del cilindro se desmorona y se le agrega agua hasta obtener un contenido de humedad del 3 al 7 % mayor al anterior.
9. Se repiten los pasos del 2. al 9. hasta lograr 6 puntos como resultado, que permitan trazar una curva cuya cúspide corresponderá a la máxima densidad para una humedad óptima.



Imagen 13. Realización del apisonamiento del material por medio del martillo para los Ensayes Proctor Estándar (2.5 Kg) y Modificado (4.54 Kg).



Imagen 14. Enrase del Material compactado, ya sea para Proctor Estándar o Proctor Modificado.



Imagen 15. Pesaje del cilindro con el material compactado en la Balanza de 29 Kg.



Imagen 16. Equipos utilizados para la elaboración de los Ensayes Proctor.

3.7 Relación de Carga California (CBR) (ASTM D - 1883, ASTM D 1883 - 73, AASHTO T 193 - 63)

- Antecedentes

El ensayo de valor relativo soporte, se emplea en la caracterización de la resistencia del material de cimiento de una vía o de los diferentes materiales que se utilizarán en un pavimento, con vista a dimensionar los espesores de los suelos que formarán parte del mismo empleando el método de diseño de pavimentos basado en dicho ensayo.

Se obtiene de la relación de la carga unitaria (Kg/m^2 , gr/cm^2 , lb/pulg^2), necesaria para lograr una cierta profundidad de penetración del pisón (19.40 cm^2) dentro de la muestra compactada de suelo, a un contenido de humedad y densidad dadas con respecto a la carga unitaria patrón (Kg/m^2 , gr/cm^2 , lb/pulg^2), requerida para obtener la misma profundidad de penetración de una muestra de material. El ensayo CBR mide la resistencia al corte de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad controladas.

Una de las ventajas del ensayo CBR es que trabaja con muestras alteradas, lo cual nos proporciona información sobre la capacidad de soporte que tendrá el

suelo y el hinchamiento promedio que pueda tener éste. La estructura o conformación de base o sub-base es una parte muy importante, debido a que esta transmite la carga del pavimento a la subrasante, por lo tanto es de suma importancia estimar las propiedades físicas y mecánicas del mismo, lo cual se obtiene mediante varios ensayos de laboratorio de suelos normados, entre ellos se encuentra el método CBR, que determina el valor de soporte del suelo en las condiciones más desfavorables (saturación). Todos estos parámetros son necesarios y muy importantes para realizar el diseño de la estructura de pavimentos a través del Método de Índice de California CBR.

Los ensayos de CBR se hacen usualmente sobre muestras compactadas al contenido de humedad óptimo para un suelo específico determinado, utilizando el ensayo de compactación Estándar o Modificado del experimento.

El método de California comprende tres ensayos:

- a) Determinación de la densidad máxima y humedad óptima.
- b) Determinación de las propiedades expansivas del material.
- c) Determinación de la Relación de Soporte de California o CBR.

Existen diferentes tipos de CBR:

- I. CBR para suelos remoldeados.
- II. CBR para suelos inalterados.
- III. CBR para suelos gravosos y arenosos.
- IV. CBR para suelos cohesivos poco o nada plásticos.
- V. CBR para suelos cohesivos plásticos.

El experimento de suelos gravosos y arenosos se realiza inmediatamente, en cambio en suelos cohesivos poco o nada plásticos y suelos cohesivos plásticos se realizan mediante expansión, se efectuará con agua en 4 días de saturación más desfavorable y la medida de expansión se realiza cada 24 horas.

El C.B.R. se determina como la relación en porcentaje entre la fuerza utilizada para la penetración de 0.25 cm (0.1 pulgada) con un vástago de 19.35 cm² (3

pulg²) de área con una velocidad de penetración de 1.27 mm/minutos (0.05 pulg/min) y la fuerza ejercida en un material patrón (piedra triturada) para esa misma penetración.

Tabla III.8 Valores de Carga Unitaria Patrón que deben utilizarse en la ecuación para el cálculo del CBR.

PENETRACION			CARGA UNITARIA PATRON		
(mm)	(cm)	(Pulg)	(Kg/cm ²)	MPa	PSI
2.5	0.25	0.10	70.31	6.9	1,000
5.0	0.50	0.20	105.46	10.3	1,500
7.5	0.75	0.30	133.58	13.0	1,900
10.0	1.00	0.40	161.71	16.0	2,300
12.7	1.27	0.50	182.80	18.0	2,600

Fuente: Prácticas de Laboratorio de Mecánica de Suelos, UNI, Pag. 89.

- Equipo a utilizar

- ✓ Molde metálico cilíndrico de compactación de 15.24 cm de diámetro interior y 17.78 cm de altura interior. Debe tener un collarín de extensión metálica de 5.08 cm de altura y una placa base metálica de 9.5 mm de espesor, con perforaciones de diámetro igual o menor a los 1.5 mm.
- ✓ Disco espaciador (fondo falso) de 15.1 cm de diámetro y 6.14 cm de altura.
- ✓ Martillo de compactación Proctor Estándar y Modificado.
- ✓ Aparato para medir la expansión con deformímetro de carátula con precisión de 0.01 mm.
- ✓ Pesas para sobrecargas, una metálica anular y varias metálicas ranuradas con un peso de 2.27 kg cada una y 14.9 cm de diámetro, con una perforación central de 50.4 cm de diámetro.
- ✓ Máquina C.B.R, equipada con pistón de penetración (diámetro de 4.953 cm, con sección transversal de 19.4 cm²) y capaz de penetrar a una velocidad de 1.27 mm/minutos y con anillo de carga de 50 kN y un deformímetro de 0.02 mm.

- ✓ Papel filtro circular.
- ✓ Horno con temperatura constante de $110 \pm 5^{\circ} \text{C}$
- ✓ Herramientas y accesorios, recipientes llenos de agua y tamices de $\frac{3}{4}$ y N° 4.

- **Procedimiento**

- 1) Preparar aproximadamente 6 Kg de material con partículas menores de 19 mm ($\frac{3}{4}$ "). Esta muestra debe de estar seca y los terrones se deben de disgregar evitando reducir el tamaño natural de las partículas.
- 2) Pesar el molde sin el disco espaciador y sin la extensión ó collarín.
- 3) Ajustar el molde a la base, insertar el disco espaciador en el molde y cubrirlo con papel filtro.
- 4) Compactar el suelo de acuerdo con la norma ASTM D 698 ó D 1557 método B ó D, referido al Proctor Estándar o Modificado, para el suelo utilizado de acuerdo con lo especificado por el instructor.
- 5) Tomar dos muestras representativas para determinar el contenido de humedad.
- 6) Quitar la extensión y enrasar la muestra suavemente hasta nivelarla; llenar con suelos finos los pequeños huecos que se hayan podido formar en la operación anterior de nivelación de la muestra.
- 7) Retirar el disco espaciador, invirtiendo el molde con la muestra compactada, de manera que ambos extremos queden con papel filtro, luego de esto pesar el molde y base con el suelo compactado y determinar el peso unitario total del suelo.

Nota: Para determinar el CBR al 100% de compactación, su procedimiento es diferente. Si se deseara realizar a distintos porcentajes de compactación se

utilizarían números de golpes de 71, 36 y 16 para cada muestra, como ocurrió en nuestro caso.

- 8) En la superficie libre de la muestra, colocado el papel filtro se pone la placa metálica perforada provista de un vástago regulable. Sobre esta placa se colocará las sobre pesas cuyo número deberá ser especificado o de lo contrario se usará sobrecarga mínima de 2.27 Kg.
- 9) A continuación se coloca todo el conjunto dentro de un recipiente. Se monta el trípode y se instala el deformímetro de manera que su punta quede tocando al vástago.
- 10) Se llena de agua el recipiente de forma que el agua tenga acceso tanto a la parte superior como a la parte inferior de la muestra y tomar la lectura inicial (L_i) en el deformímetro. Tomar lecturas a las 0, 24, 48, 72 y 96 horas de tiempo transcurrido.
- 11) Registrada la lectura final en el deformímetro (L_f), se retira el trípode y se saca el molde del agua, para dejarlo drenar durante quince minutos.
- 12) Se lleva la muestra a la máquina de ensaye y se colocan sobre ella una cantidad de pesas para reproducir una sobrecarga igual a la que supuestamente ejercerá el material de base y pavimento del camino proyectado. Se coloca el pistón de penetración hasta que haga contacto con la muestra. Se la aplica una carga inicial de 4.5 kg.
- 13) Después de aplicada la carga inicial se ajustan el deformímetro de carga y el deformímetro de penetración a cero, se anotan las lecturas de carga a los niveles de penetración (0.025", 0.050", 0.075", 0.1", 0.15", 0.2" y 0.3"); a una velocidad constante de 1.27 mm/minuto.

3.8 Determinación del Contenido de Humedad (ASTM D 2216 -71; Parte 19)

El contenido de humedad del suelo, se define como la cantidad de agua presente en el suelo al momento de efectuar el ensaye, relacionado al peso de su fase sólida.

- Equipo a utilizar

- ✓ Pala.
- ✓ Barra.
- ✓ Balanza de 0.1 gr de sensibilidad.
- ✓ Tara para humedad.
- ✓ Horno.
- ✓ Cucharón.
- ✓ Charola.
- ✓ Bolsas plásticas, sacos, tarjetas para Identificar las muestras.

- Procedimiento

1. Tomar una muestra representativa del estrato a evaluar.
2. Obtener el peso húmedo de la muestra.
3. Colocar la muestra en una tara y depositarlo en el horno hasta obtener peso constante.

Temperatura del horno: 105° C a 115° C.

Tiempo de la muestra en el horno: 24 horas.

4. Retirar la muestra del horno, dejarla enfriar y determinar su peso seco.



Imagen 17. Pesaje del Cilindro con material compactado sin el molde espaciador, tanto para CBR Estándar y CBR Modificado.



Imagen 18. Saturación de los moldes en cubos de concreto durante 96 horas.



Imagen 19. Aparato para medir el hinchamiento, se realizaron dos lecturas antes y después de la saturación.



Imagen 20. Maquina CBR utilizada en el laboratorio para medir la deformación del material sometida a varias penetraciones.

3.9 Fórmulas Utilizadas por Ensaye Realizado

- Granulometría

$$\% R_P = \left(\frac{W_n}{W_T} \right) * 100$$

$$\% R_A = (\% R_{P_n} + \% R_{P_{n+1}})$$

$$\% Q_P = 100 - (\% R_{A_n})$$

Donde:

$\% R_P$ = Porcentaje Retenido Parcial.

W_n = Peso Retenido por cada Tamiz en orden Descendente (gr).

W_T = Peso Total de la muestra cribada por los tamices (gr).

$\% R_A$ = Porcentaje Retenido Acumulado.

$\% R_{P_n}$ = Porcentaje Retenido Parcial del tamiz correspondiente.

$\% R_{P_{n+1}}$ = Porcentaje Retenido Parcial del tamiz consecutivo.

$\% Q_P$ = Porcentaje Que Pasa.

$\% R_{A_n}$ = Porcentaje Acumulado del tamiz correspondiente.

n = Designación de Tamices 0", 3", 2", 1½", 1", ¾", 3/8", N° 4, N° 10, N° 40, N° 200.

$$\text{Relación de Finos} = \frac{\% \text{ Que pasa el Tamiz N}^\circ 200}{\% \text{ Que pasa el Tamiz N}^\circ 40}$$

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

Donde:

C_u = Coeficiente de Uniformidad.

D_{60} = Valor correspondiente del 60 % a la intersección de la curva granulométrica.

D_{10} = Valor correspondiente del 10 % a la intersección de la curva granulométrica.

$$C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} * D_{60}}$$

Donde:

C_c = Coeficiente de Curvatura.

D_{30} = Valor correspondiente del 30 % a la intersección de la curva granulométrica.

- **Pesos volumétricos**

$$P_{VSS} = \frac{W_{mssp}}{V_c} * 1000$$

$$P_{VSC} = \frac{W_{mscp}}{V_c} * 1000$$

$$W_{mssp} = \frac{(W_1 + W_2 + W_3)}{3}$$

Donde:

P_{VSS} = Peso volumétrico Seco Suelto (Kg/m³).

W_{mssp} = Peso Promedio del material seco suelto (gr).

V_c = Volumen del Cilindro (cm³).

P_{VSC} = Peso volumétrico Seco Compacto o Varillado (Kg/m³).

W_{mscp} = Peso Promedio del material seco compacto (gr).

W = Peso del material por cada ensaye (gr).

- **Gravedad específica**

$$W_{fswv} = W_{fw} + W_s$$

$$V_d = W_{fswv} - W_{fsw}$$

$$G_s = \frac{W_s}{V_d}$$

Donde:

W_s = Peso seco del suelo (50 gr).

W_{fswv} = Peso del frasco + peso del suelo + peso del agua + vacios.

W_{fw} = Peso del frasco + peso del agua.

W_{fsw} = Peso del frasco + peso del suelo + peso del agua - vacios.

V_d = Volumen desalojado (gr).

G_s = Gravedad específica de las partículas sólidas del suelo.

- **Densidad máxima y Humedad óptima (Proctor)**

$$W_{sh} = W_{msh} - W_m$$

$$\gamma_h = \frac{W_{sh}}{V_c}$$

$$\gamma_d = \frac{\gamma_h}{1 + \% w}$$

$$W_s = W_{t+ms} - W_t$$

$$W_w = W_{t+mh} - W_{t+ms}$$

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

$$\gamma_z = \frac{G_s * \gamma_w}{1 + (G_s * \% w)}$$

$$F_A = \frac{\gamma_d \text{ máx}}{P_{VSS}}$$

Donde:

W_{sh} = Peso del material húmedo (gr).

W_{msh} = Peso del material húmedo con el molde (gr).

W_m = Peso del Molde (gr).

γ_h = Peso Volumétrico Húmedo (Kg/m³).

V_c = Volumen del Cilindro (lts).

γ_d = Peso Volumétrico Seco (Kg/m³).

$\% w$ = Porcentaje de Humedad.

W_s = Peso del material Seco (gr).

W_{t+ms} = Peso de la tara + material seco (gr)

W_t = Peso de la tara (gr).

W_w = Peso del Agua (gr).

W_{t+mh} = Peso de la tara + material húmedo (gr).

γ_z = Peso Volumétrico de la curva de Saturación (Kg/m³).

γ_w = Peso Volumétrico del Agua (Kg/m³).

F_A = Factor de Abundamiento.

$\gamma_d \text{ máx}$ = Peso Volumétrico Seco Máximo (Kg/m³; Localizado en las Gráficas de Proctor como máximo valor de la curva).

P_{VSS} = Peso Volumétrico Seco Suelto (Kg/m³).

- **Relaciones Volumétricas y Gravimétricas.**

$$e = \frac{V_V}{V_S}$$

$$n (\%) = \frac{V_V}{V_m} * 100$$

$$S_r (\%) = \frac{V_w}{V_V} * 100$$

$$w (\%) = \frac{W_w}{W_s} * 100$$

$$\gamma_{dm\acute{a}x} = \frac{G_s * \gamma_w}{1 + e}$$

$$n = \left(\frac{e}{1 + e} \right) * 100$$

$$w = \left(\frac{S_r * e}{G_s} \right) * 100$$

Donde:

e = Relación de vacíos.

V_V = Volumen de vacíos (cm³, m³).

V_S = Volumen del suelo (cm³, m³).

n = Porosidad (%).

V_m = Volumen total de la muestra de suelo (cm³, m³).

S_r = Grado de Saturación (%).

V_w = Volumen del agua (cm³, m³).

w = Humedad (%).

W_w = Peso del agua (gr, Kg).

W_s = Peso del suelo seco (gr, Kg).

$\gamma_{dm\acute{a}x}$ = Peso Volumétrico Seco Máximo (Kg/m³).

γ_w = Peso Volumétrico del Agua (Valor constante de 1000 Kg/m³).

G_s = Gravedad Específica del Material.

$$Enjuntamiento = \frac{\gamma_B}{\gamma_C} < 1$$

$$Abundamiento = \frac{\gamma_B}{P_{VSS}} > 1$$

γ_B = Densidad del Banco (Kg/m^3); Se considera $\gamma_B = P_{VSC}$, en caso de no calcularla directamente en el Banco, debido a que es el más semejante de los calculados en los laboratorios).

γ_C = Densidad Máxima de Compactación o Peso Volumétrico Seco Máximo (Kg/m^3).

- Relación de Carga California (CBR)

$$W_{sh} = W_{m+sh} - W_m$$

$$\gamma_h = \frac{W_{sh}}{V_c}$$

$$\gamma_d = \frac{\gamma_h}{1 + \% w}$$

$$Carga = N_{deformación} * f_a$$

$$CBR(\%) = \frac{Carga Unitaria}{Carga Unitaria Patron} * 100$$

$$\% C = \left(\frac{\gamma_d}{\gamma_d máx} \right) * 100$$

$$W_s = W_{t+ms} - W_t$$

$$W_w = W_{t+mh} - W_{t+ms}$$

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

$$Hinchamiento (\%) = \left(\frac{L_f - L_i}{116.4} \right) * 100$$

Donde:

W_{sh} = Peso del material húmedo (gr).

W_{m+sh} = Peso del material húmedo con el molde (gr).

W_m = Peso del Molde (gr).

γ_h = Peso Volumétrico Húmedo (Kg/m^3).

W_s = Peso del material Seco (gr).

V_c = Volumen del Cilindro (lts).

γ_d = Peso Volumétrico Seco (Kg/m^3).

$\% w$ = Porcentaje de Humedad.

$N_{deformación}$ = Lecturas del anillo en la Penetración con el Aparato de CBR.

f_a = Factor de Anillo constante de 4.6418.

W_{t+ms} = Peso de la tara + material seco (gr)

W_t = Peso de la tara (gr).

W_w = Peso del Agua (gr).

W_{t+mh} = Peso de la tara + material húmedo (gr).

L_i = Lectura inicial, tomada de las muestras compactadas para el ensaye de CBR a 16, 36, 71 Golpes (mm).

L_f = Lectura final, tomada después de haber transcurrido 96 horas de saturación de la muestra para prueba de CBR (mm).

116.4 = Altura de la Probeta en mm (Altura del molde menos Altura del Disco Espaciador).

$$E_c = \frac{W * h * N * n}{V}$$

Donde:

E_c = Energía de compactación.

W = Peso del Pisón.

h = Altura de caída libre.

N = Numero de golpes por capa.

n = Numero de capas.

V = Volumen del suelo compactado.

CAPITULO IV :

Banco SAN ISIDRO LIBERTADOR





El banco de materiales de préstamo “San Isidro Libertador”, está ubicado en la Comarca del mismo nombre perteneciente al Distrito Tres; en el municipio de Managua a unos ocho kilómetros hacia el sur. Su propietaria la señora Norma López nos relata que el banco empezó a explotarse en el mes de mayo del año 2008, con el aval del MEM y el MARENA, quienes concedieron los permisos necesarios para la apertura del banco, posteriormente se le realizaron los ensayos básicos para conocer su comportamiento en las diferentes exigencias de obras civiles que demandan sus compradores. El frente de explotación actualmente en uso cuenta con un volumen aprovechable aproximado de 80,000 m³, sin considerar que aun se encuentran 10 manzanas sin ser explotadas.

El banco se sitúa dentro de los linderos de la finca ‘San Rafael’, la que cuenta con una extensión de terreno de aproximadamente 37 manzanas en la cual además se

cultivan cítricos, piñas, plátano, entre otros; lo cual provee a los dueños de la propiedad, mayores ingresos económicos además de los obtenidos por la venta del material, cuyo metro cúbico se cotiza en 150 córdobas, se prevé que la vida útil de explotación del yacimiento será de unos 20 años, en este momento la parte del banco que está siendo explotada mide unos 25 m de frente.

En la actualidad, el banco San Isidro Libertador es el de mayor demanda en las diferentes obras de construcción por parte de la Alcaldía, así como de empresas privadas; dada su accesibilidad en referencia a los diversos puntos de situación de las obras, así como de la disponibilidad de un buen material selecto el cual ha sido requerido en proyectos como Casas Para el Pueblo, asimismo en el mantenimiento periódico como ha sido renovar la condición original de los pavimentos mediante la aplicación de capas adicionales de material selecto, rehabilitación, mejoramiento y reconstrucción, suministrados por parte de la Alcaldía a las calles de la ciudad.

4.1 Análisis Granulométrico y Pesos Volumétricos

Muestra N°1

Determinación de Composición Granulométrica y Pesos Volumétricos del Material Seco Suelto

Composición Granulométrica del material Retenido en la malla N° 4

Malla	PRP(gr)	% RP	% RA	% QP
1½"	-	-	-	100
1"	43.0	1	1	99
¾"	26.0	1	2	98
⅜"	368.0	9	11	89
N° 4	536.0	14	25	75
Pasa N° 4	2,916.0	75	100	-
Suma	3,889.0	100	-	-

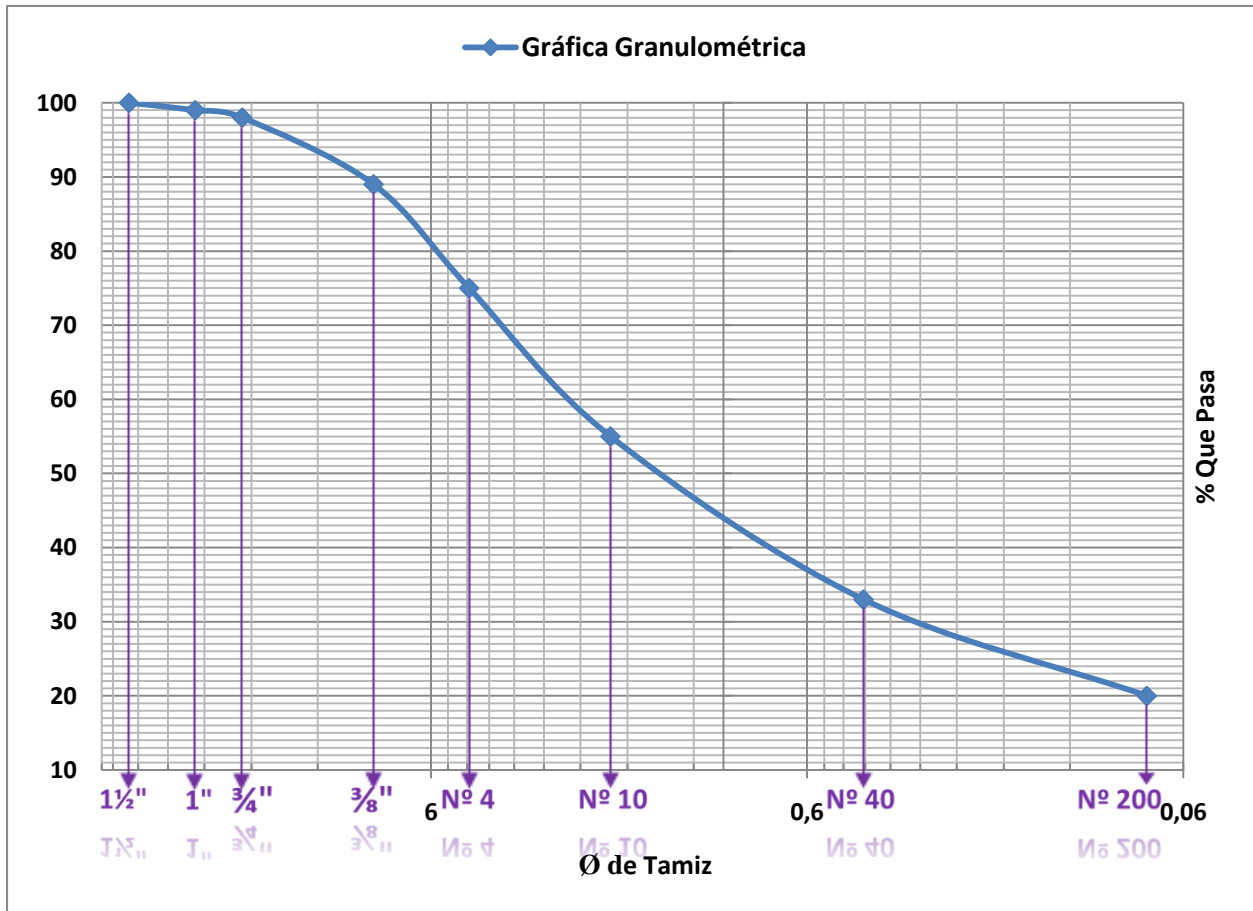
Determinación de Pesos	
PSS (gr)	3,495.0
PSV (gr)	3,896.0
Volumen (cm ³)	2,850.0
Peso Volumétrico (Kg/m ³)	
PVSS	1,226.0
PVSV	1,367.0

Composición Granulométrica del material que pasa la malla N° 4 (Lavado)

Malla	Peso Retenido Parcial (gr)		% Retenido Parcial		% RP (Promedio)	% RA	% QP
N° 10	49.5	36.5	23	16	20	45	55
N° 40	46.7	55.0	21	24	22	67	33
N° 200	26.7	34.4	12	15	13	80	20
Pasa N° 200	41.6	46.3	19	20	20	100	-
Suma	164.5	172.2	75	75	75	-	-

Material Lavado (gr)

Prueba No. 1	Peso Seco	165.0	Prueba No. 2	Peso Seco	172.7
	Peso Seco Lavado	123.4		Peso Seco Lavado	126.4
	Pasa N° 200	41.6		Pasa N° 200	46.3



Gráfica IV.1 Representación Granulométrica de los porcentajes que pasan por los tamices con aberturas de diámetros variados, para la Muestra 1.

Tabla IV.1 Resultados Obtenidos de Ensaye Granulométrico.

Tamaño Máximo	3/8"
Relación de Finos	0.60
Peso Volumétrico Seco Suelto (PVSS)	1,226.0 Kg/m ³
Peso Volumétrico Seco Varillado (PVSV)	1,367.0 Kg/m ³

Muestra N°2

Determinación de Composición Granulométrica y Pesos Volumétricos del Material Seco Suelto

Composición Granulométrica del material Retenido en la malla N° 4

Malla	PRP(gr)	% RP	% RA	% QP
1½"	-	-	-	100
1"	95.0	3	3	97
¾"	345.0	9	12	88
⅜"	94.0	2	14	86
N° 4	480.0	12	26	74
Pasa N° 4	2,845.0	74	100	-
Suma	3,859.0	100	-	-

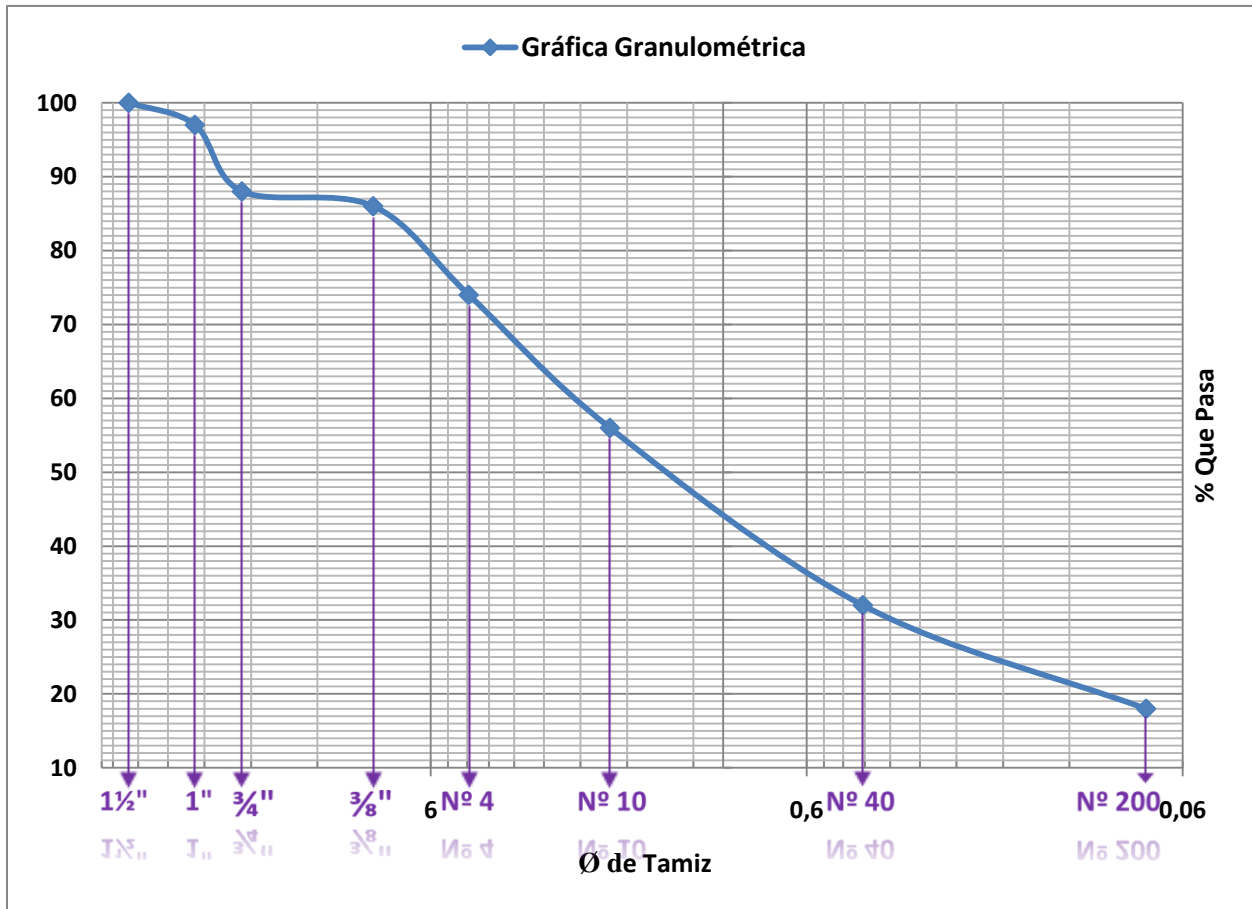
Determinación de Pesos	
PSS (gr)	3,620.0
PSV (gr)	4,130.0
Volumen (cm³)	2,850.0
Peso Volumétrico (Kg/m³)	
PVSS	1,270.0
PVSV	1,449.0

Composición Granulométrica del material que pasa la malla N° 4 (Lavado)

Malla	Peso Retenido Parcial (gr)		% Retenido Parcial		% RP (Promedio)	% RA	% QP
N° 10	31.3	30.1	17	19	18	44	56
N° 40	45.5	38.7	25	24	24	68	32
N° 200	24.5	21.8	14	14	14	82	18
Pasa N° 200	33.4	27.4	18	17	18	100	-
Suma	134.7	118.0	74	74	74	-	-

Material Lavado (gr)

Prueba No. 1	Peso Seco	135.4	Prueba No. 2	Peso Seco	118.6
	Peso Seco Lavado	102.0		Peso Seco Lavado	91.2
	Pasa N° 200	33.4		Pasa N° 200	27.4



Gráfica IV.2 Representación Granulométrica de los porcentajes que pasan por los tamices con aberturas de diámetros variados, para la Muestra 2.

Tabla IV.2 Resultados Obtenidos de Ensaye Granulométrico.

Tamaño Máximo	3/8"
Relación de Finos	0.56
Peso Volumétrico Seco Suelto (PVSS)	1,270.0 Kg/m ³
Peso Volumétrico Seco Varillado (PVSV)	1,449.0 Kg/m ³

Muestra N°3

Determinación de Composición Granulométrica y Pesos Volumétricos del Material Seco Suelto

Composición Granulométrica del material Retenido en la malla N° 4

Malla	PRP(gr)	% RP	% RA	% QP
2"	-	-	-	100
1½"	90.0	2	2	98
1"	63.0	2	4	96
¾"	79.0	2	6	94
⅜"	300.0	8	14	86
N° 4	458.0	12	26	74
Pasa N° 4	2,812.0	74	100	-
Suma	3,802.0	100	-	-

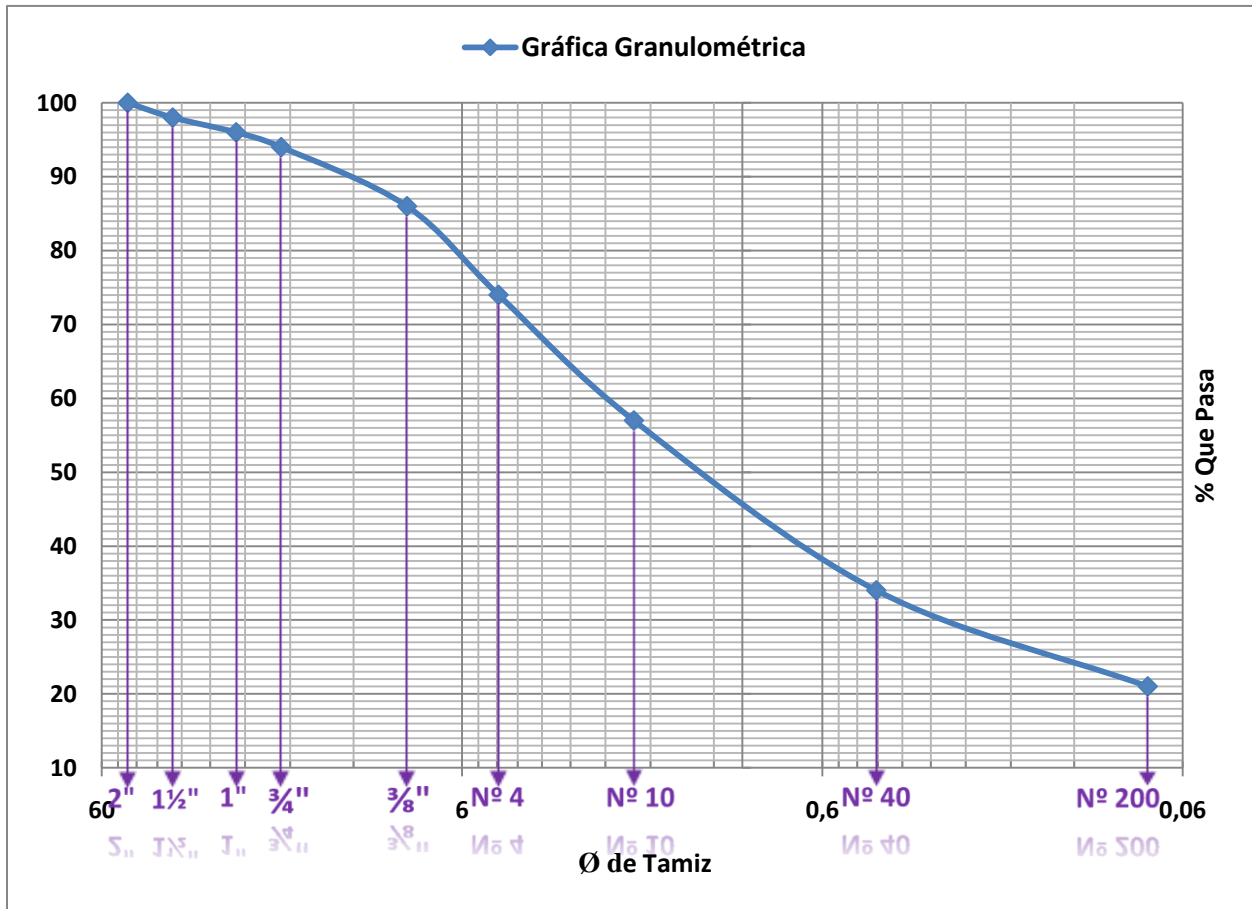
Determinación de Pesos	
PSS (gr)	3,545.0
PSV (gr)	4,085.0
Volumen (cm³)	2,850.0
Peso Volumétrico (Kg/m³)	
PVSS	1,244.0
PVSV	1,433.0

Composición Granulométrica del material que pasa la malla N° 4 (Lavado)

Malla	Peso Retenido Parcial (gr)		% Retenido Parcial		% RP (Promedio)	% RA	% QP
N° 10	26.9	27.0	17	17	17	43	57
N° 40	36.5	38.1	23	23	23	66	34
N° 200	20.4	21.0	13	13	13	79	21
Pasa N° 200	33.3	33.5	21	21	21	100	-
Suma	117.1	119.6	74	74	74	-	-

Material Lavado (gr)

Prueba No. 1	Peso Seco	117.1	Prueba No. 2	Peso Seco	120.1
	Peso Seco Lavado	84.4		Peso Seco Lavado	86.6
	Pasa N° 200	33.3		Pasa N° 200	33.5



Gráfica IV.3 Representación Granulométrica de los porcentajes que pasan por los tamices con aberturas de diámetros variados, para la Muestra 3.

Tabla IV.3 Resultados Obtenidos de Ensaye Granulométrico.

Tamaño Máximo	¾"
Relación de Finos	0.62
Peso Volumétrico Seco Suelto (PVSS)	1,244.0 Kg/m ³
Peso Volumétrico Seco Varillado (PVSV)	1,433.0 Kg/m ³

Tabla IV.4 Resultados Finales de los Análisis Granulométricos y Pesos Volumétricos.

Muestra N°	Tamaño Máximo	Relación de Finos	PVSS (Kg/m³)	PVSV (Kg/m³)
1	$\frac{3}{8}$ "	0.60	1,226.0	1,367.0
2	$\frac{3}{8}$ "	0.56	1,270.0	1,449.0
3	$\frac{3}{8}$ "	0.62	1,244.0	1,433.0
Promedio	$\frac{3}{8}$ "	0.59	1,247.0	1,416.0

4.2 Límites de Atterberg

Tabla IV.5 Determinación de Límites de Consistencia.

Muestra N°	
1	No Plástico
2	
3	

4.3 Gravedad Específica

Muestra N°1

Ensaye de Densidad Referida al Peso Seco (Gravedad Específica)

Determinación N°	1	2
Frasco N°	27	27
Peso del Frasco Lleno de Agua (P), (g)	673.8	673.8
Peso del Material Saturado y Superficialmente Seco (As), (g)	50.0	50.0
Total (P + As), (g)	723.8	723.8
Peso del Frasco con Agua y Material (W), (g)	701.9	701.9
Volumen Desalojado{(P + As) - W}, (g)	21.9	21.9
Densidad	2.28	2.28
Densidad Promedio	2.28	

Muestra N°2

Ensaye de Densidad Referida al Peso Seco (Gravedad Específica)

Determinación N°	1	2
Frasco N°	27	27
Peso del Frasco Lleno de Agua (P), (g)	673.8	673.8
Peso del Material Saturado y Superficialmente Seco (As), (g)	50.0	50.0
Total (P + As), (g)	723.8	723.8
Peso del Frasco con Agua y Material (W), (g)	701.5	701.9
Volumen Desalojado{(P + As) - W}, (g)	22.3	21.9
Densidad	2.24	2.28
Densidad Promedio	2.26	

Muestra N°3**Ensaye de Densidad Referida al Peso Seco**
(Gravedad Específica)

Determinación N°	1	2
Frasco N°	27	27
Peso del Frasco Lleno de Agua (P), (g)	673.8	673.8
Peso del Material Saturado y Superficialmente Seco (As), (g)	50	50
Total (P + As), (g)	723.8	723.8
Peso del Frasco con Agua y Material (W), (g)	701.9	702.1
Volumen Desalojado{(P + As) - W}, (g)	21.9	21.7
Densidad	2.28	2.30
Densidad Promedio	2.29	

Tabla IV.6 Resultados Obtenidos de Ensayes de Gravedad Específica.

Muestra N°	Gravedad Específica
1	2.28
2	2.26
3	2.29
Promedio	2.28

4.4 Ensayes de Compactación

4.4.1 Proctor Estándar

Muestra N°1

Prueba de Compactación Proctor Estándar

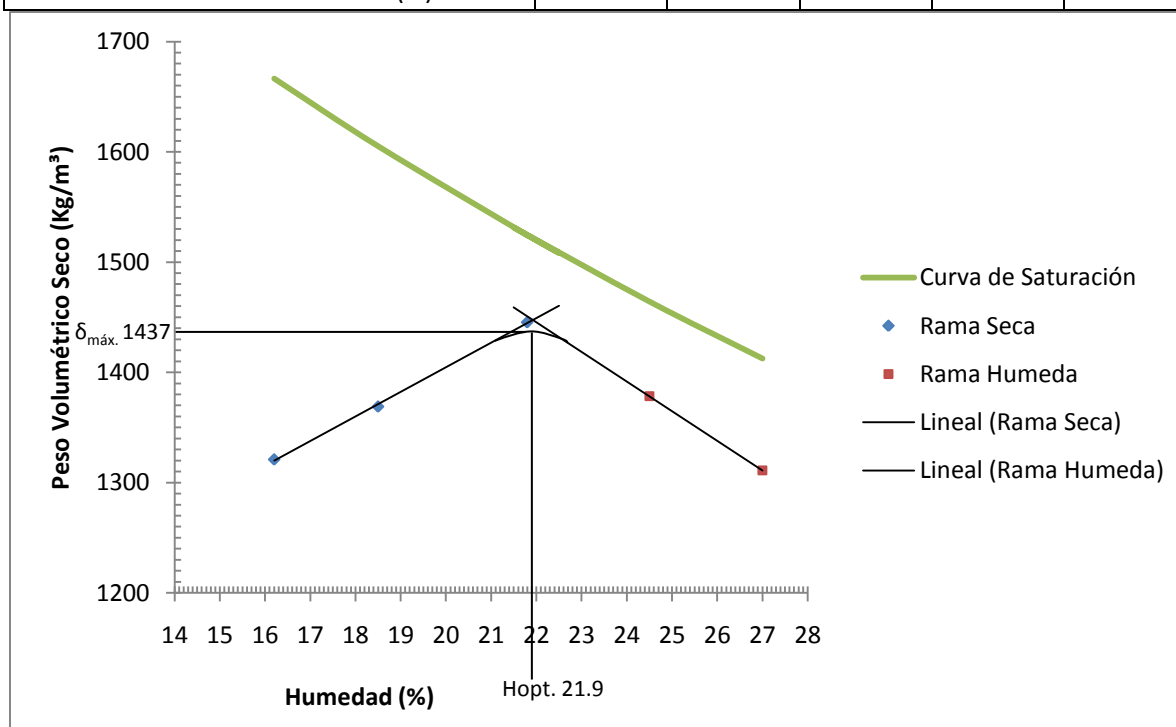
Molde N°: 20 Peso: 4.250 Kg. Volumen : 0.94 Lts Diámetro: 10.16 cm
 Peso del Martillo: 5.5 Lbs Caída: 12" Golpes por capa: 25 N° de Capas: 3

Compactación de la Muestra

Peso del Material + Molde (Kg.)	5.693	5.775	5.905	5.863	5.815
Peso del Molde (Kg.)	4.250	4.250	4.250	4.250	4.250
Peso del Material en el Molde (Kg.)	1.443	1.525	1.655	1.613	1.565
Peso Volumétrico Húmedo (Kg/m ³)	1,535.0	1,622.0	1,761.0	1,716.0	1,665.0
Peso Volumétrico Seco (Kg/m ³)	1,321.0	1,369.0	1,446.0	1,378.0	1,311.0

Contenido de Agua de la Muestra Compactada

Tara N°	29	C - 18	198	208	112
Peso de la Tara + Material Húmedo (gr)	150.9	131.0	144.5	159.4	170.0
Peso de la Tara + Material Seco (gr)	135.2	117.0	125.0	135.1	142.0
Peso de Agua (gr)	15.7	14.0	19.5	24.3	28.0
Peso de Tara (gr)	38.3	41.5	35.5	36.0	38.3
Peso de Material Seco (gr)	96.9	75.5	89.5	99.1	103.7
Contenido de Humedad (%)	16.2	18.5	21.8	24.5	27.0



Gráfica IV.4 Líneas de Tendencias para obtener $\delta_{máx.}$ y $H_{opt.}$

Muestra N°2

Prueba de Compactación Proctor Estándar

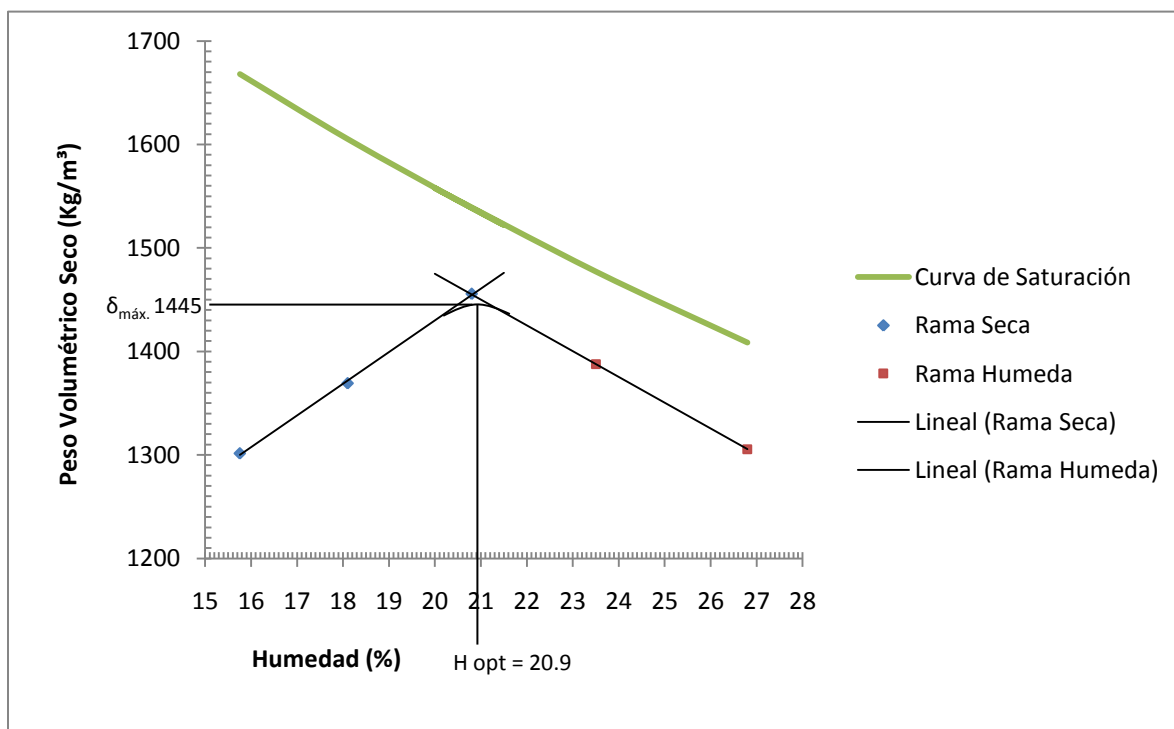
Molde N°: 20 Peso: 4.250 Kg. Volumen : 0.94 Lts Diámetro: 10.16 cm
 Peso del Martillo: 5.5 Lbs Caída: 12" Golpes por capa: 25 N° de Capas: 3

Compactación de la Muestra

Peso del Material + Molde (Kg.)	5.666	5.770	5.903	5.861	5.806
Peso del Molde (Kg.)	4.250	4.250	4.250	4.250	4.250
Peso del Material en el Molde (Kg)	1.416	1.520	1.653	1.611	1.556
Peso Volumétrico Húmedo (Kg/m ³)	1,506.0	1,617.0	1,759.0	1,714.0	1,655.0
Peso Volumétrico Seco (Kg/m ³)	1,301.0	1,369.0	1,456.0	1,388.0	1,305.0

Contenido de Agua de la Muestra Compactada

Tara N°	OM-39	97	199	T-69	90
Peso de la Tara + Material Húmedo (gr)	145.9	140.1	143.5	145.5	152.1
Peso de la Tara + Material Seco (gr)	132.1	125.6	125.1	122.8	126.8
Peso de Agua (gr)	13.8	14.5	18.4	22.7	25.3
Peso de Tara (gr)	44.5	45.3	36.5	26.4	94.4
Peso de Material Seco (gr)	87.6	80.3	88.6	96.4	32.4
Contenido de Humedad (%)	15.8	18.1	20.8	23.5	26.8



Gráfica IV.5 Líneas de Tendencias para obtener $\delta_{máx.}$ y $H_{opt.}$

Muestra N°3

Prueba de Compactación Proctor Estándar

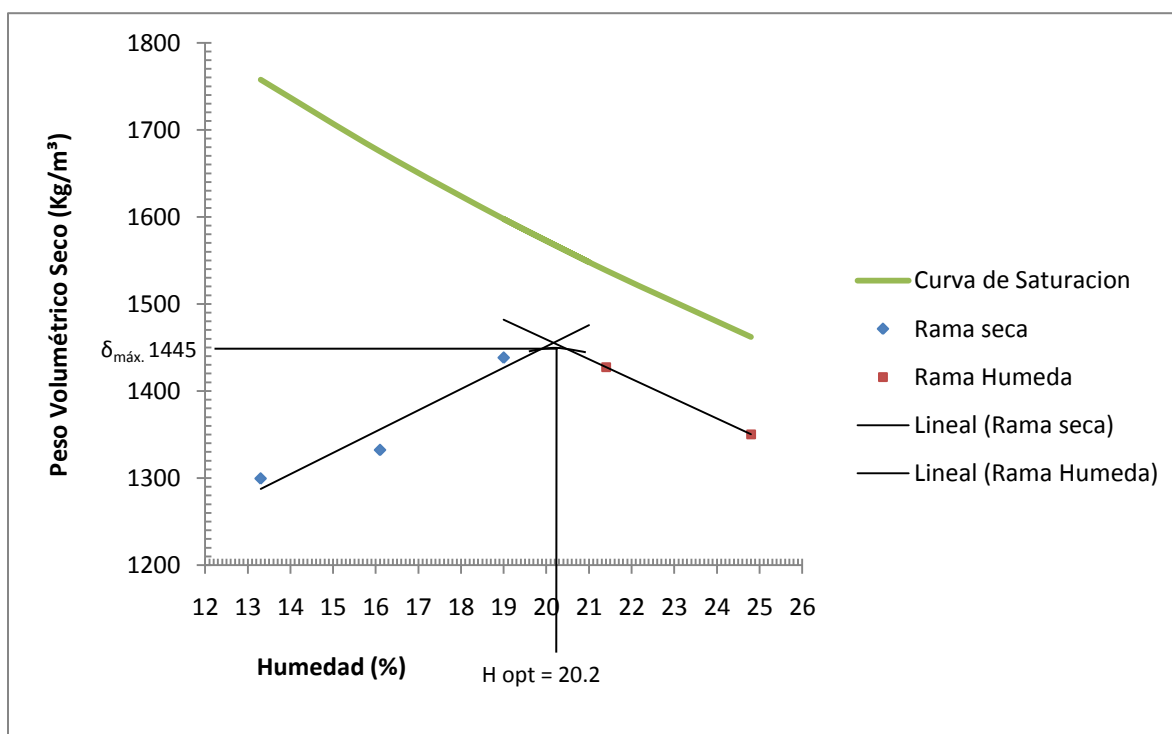
Molde N°: 20 Peso: 4.241 Kg. Volumen : 0.94 Lts Diámetro: 10.16 cm
 Peso del Martillo: 5.5 Lbs Caída: 12" Golpes por capa: 25 N° de Capas: 3

Compactación de la Muestra

Peso del Material + Molde (Kg)	5.625	5.695	5.850	5.870	5.825
Peso del Molde (Kg)	4.241	4.241	4.241	4.241	4.241
Peso del Material en el Molde (Kg)	1.384	1.454	1.609	1.629	1.584
Peso Volumétrico Húmedo (Kg/m ³)	1,472.0	1,547.0	1,712.0	1,733.0	1,685.0
Peso Volumétrico Seco (Kg/m ³)	1,300.0	1,332.0	1,438.0	1,427.0	1,350.0

Contenido de Agua de la Muestra Compactada

Tara N°	194	365	190	112	29
Peso de la Tara + Material Húmedo (gr)	146.3	142.3	146.3	138.0	151.0
Peso de la Tara + Material Seco (gr)	133.5	127.6	128.9	120.4	128.6
Peso de Agua (gr)	12.8	14.7	17.4	17.6	22.4
Peso de Tara (gr)	37.1	36.3	37.5	38.3	38.3
Peso de Material Seco (gr)	96.4	91.3	91.4	82.1	90.3
Contenido de Humedad (%)	13.3	16.1	19.0	21.4	24.8



Gráfica IV.6 Líneas de Tendencias para obtener $\delta_{máx.}$ y $H_{opt.}$

4.4.2 Proctor Modificado

Muestra N°1

Prueba de Compactación Proctor Modificado

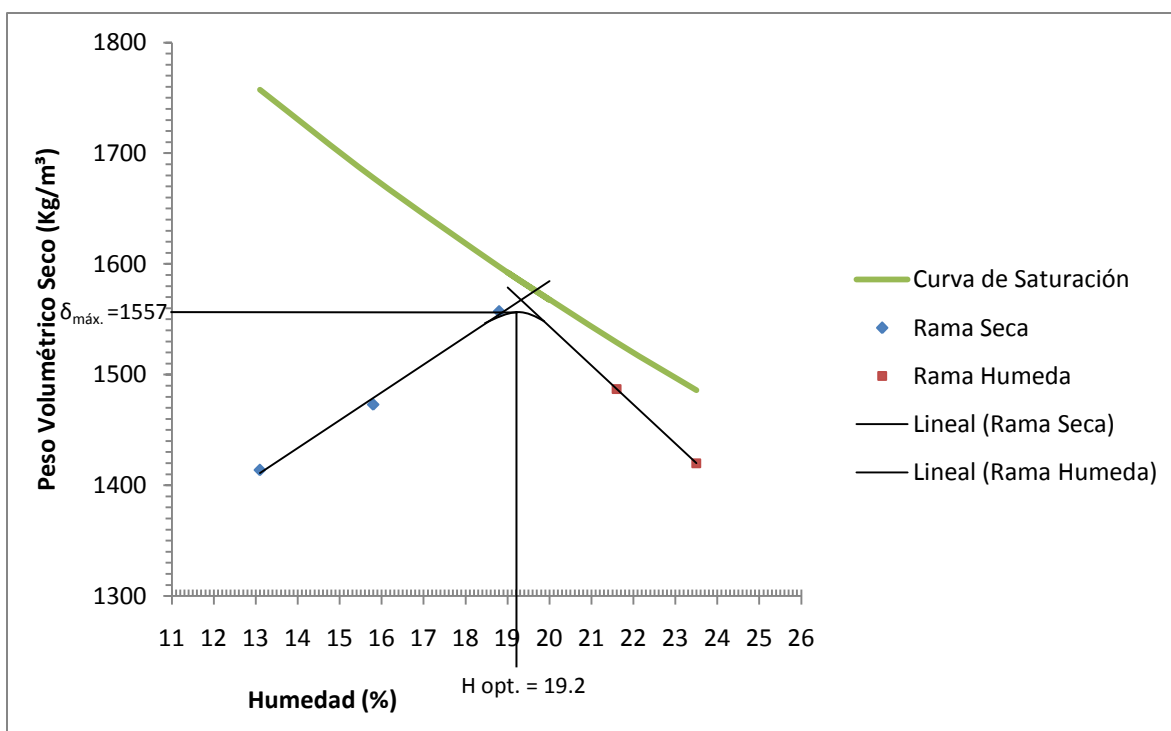
Molde N°: 20 Peso: 4.246 Kg Volumen: 0.94 Lts Diámetro: 10.16 cm
 Peso del Martillo: 11 Lbs Caída: 18" Golpes por capa: 25 N° de Capas: 5

Compactación de la Muestra

Peso del Material + Molde (Kg)	5.749	5.850	5.985	5.945	5.895
Peso del Molde (Kg)	4.246	4.246	4.246	4.246	4.246
Peso del Material en el Molde (Kg)	1.503	1.604	1.739	1.699	1.649
Peso Volumétrico Húmedo (Kg/m ³)	1,599.0	1,706.0	1,850.0	1,807.0	1,754.0
Peso Volumétrico Seco (Kg/m ³)	1,414.0	1,473.0	1,557.0	1,487.0	1,420.0

Contenido de Agua de la Muestra Compactada

Tara N°	169	190	194	112	365
Peso de la Tara + Material Húmedo (gr)	136.1	134.8	157.2	151.1	149.2
Peso de la Tara + Material Seco (gr)	125.7	121.5	138.2	131.1	127.7
Peso de Agua (gr)	10.4	13.3	19.0	20.0	21.5
Peso de Tara (gr)	46.1	37.5	37.1	38.3	36.3
Peso de Material Seco (gr)	79.6	84.0	101.1	92.8	91.4
Contenido de Humedad (%)	13.1	15.8	18.8	21.6	23.5



Gráfica IV.7 Líneas de Tendencias para obtener $\delta_{máx.}$ y $H_{opt.}$

Muestra N°2

Prueba de Compactación Proctor Modificado

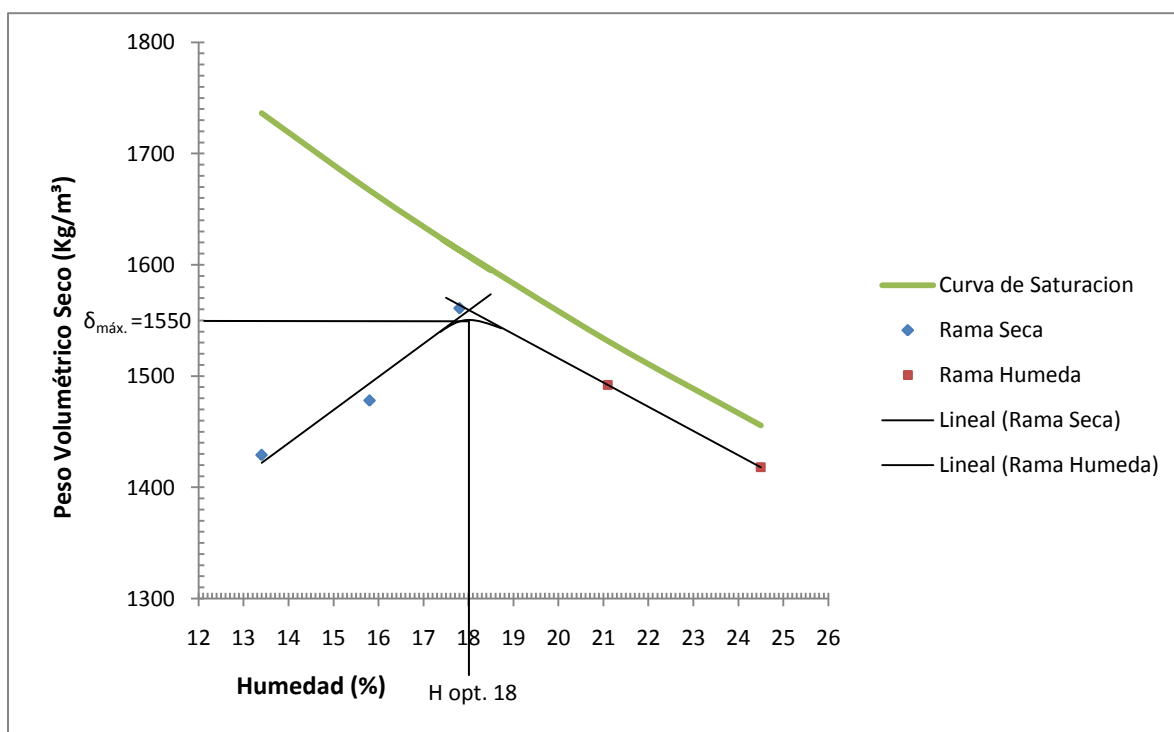
Molde N°: 20 Peso: 4.245 Kg Volumen: 0.94 Lts Diámetro: 10.16 cm
 Peso del Martillo: 11 Lbs Caída: 18" Golpes por capa: 25 N° de Capas: 5

Compactación de la Muestra

Peso del Material + Molde (Kg)	5.770	5.855	5.975	5.945	5.905
Peso del Molde (Kg)	4.246	4.246	4.246	4.246	4.246
Peso del Material en el Molde (Kg)	1.524	1.609	1.729	1.699	1.659
Peso Volumétrico Húmedo (Kg/m ³)	1,621.0	1,712.0	1,839.0	1,807.0	1,765.0
Peso Volumétrico Seco (Kg/m ³)	1,429.0	1,478.0	1,561.0	1,492.0	1,418.0

Contenido de Agua de la Muestra Compactada

Tara N°	191	163	31	164	150
Peso de la Tara + Material Húmedo (gr)	141.3	149.6	136.1	130.6	153.2
Peso de la Tara + Material Seco (gr)	128.5	134.3	121.1	114.2	130.4
Peso de Agua (gr)	12.8	15.3	15.0	16.4	22.8
Peso de Tara (gr)	33.2	37.5	37.0	36.6	37.3
Peso de Material Seco (gr)	95.3	96.8	84.1	77.6	93.1
Contenido de Humedad (%)	13.4	15.8	17.8	21.1	24.5



Gráfica IV.8 Líneas de Tendencias para obtener $\delta_{máx.}$ y $H_{opt.}$

Muestra N°3

Prueba de Compactación Proctor Modificado

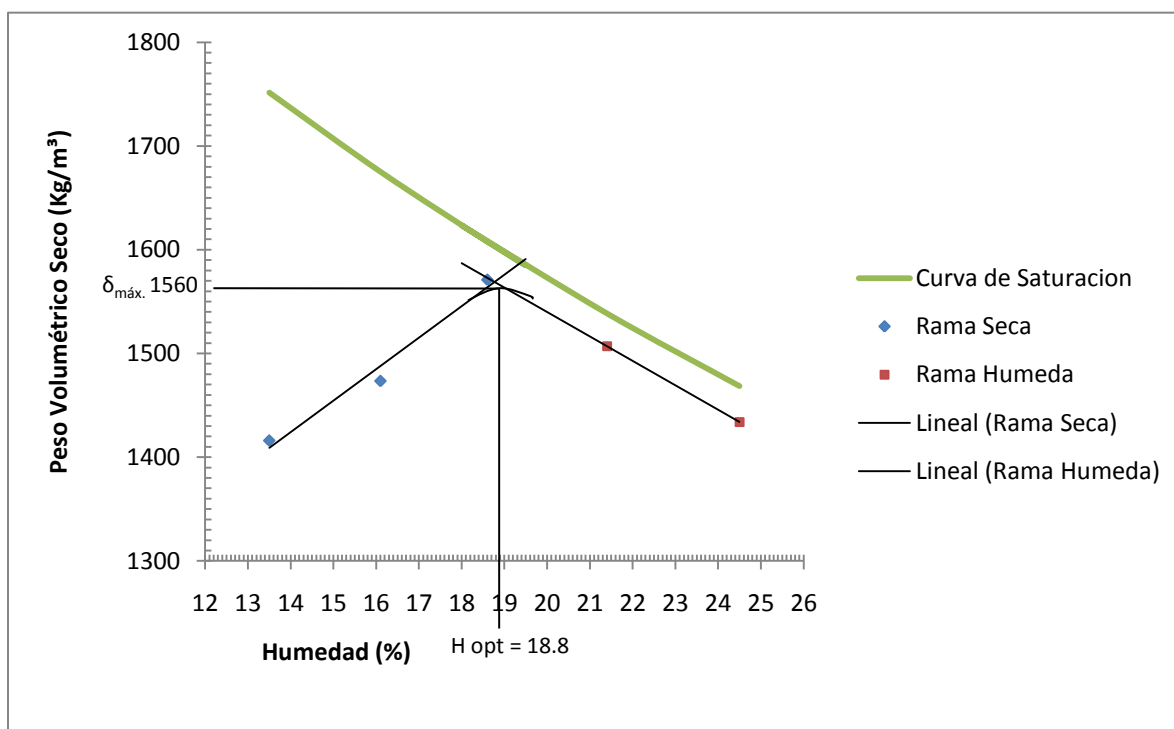
Molde N°: 20 Peso: 4.243 Kg Volumen: 0.94 Lts Diámetro: 10.16 cm
 Peso del Martillo: 11 Lbs Caída: 18" Golpes por capa: 25 N° de Capas: 5

Compactación de la Muestra

Peso del Material + Molde (Kg)	5.753	5.851	5.995	5.963	5.921
Peso del Molde (Kg)	4.243	4.243	4.243	4.243	4.243
Peso del Material en el Molde (Kg)	1.510	1.608	1.752	1.720	1.678
Peso Volumétrico Húmedo (Kg/m ³)	1,606.0	1,711.0	1,864.0	1,830.0	1,785.0
Peso Volumétrico Seco (Kg/m ³)	1,416.0	1,473.0	1,571.0	1,507.0	1,434.0

Contenido de Agua de la Muestra Compactada

Tara N°	164	55	155	191	150
Peso de la Tara + Material Húmedo (gr)	147.8	143.2	157.6	155.1	154.8
Peso de la Tara + Material Seco (gr)	134.6	128.1	138.5	133.6	131.7
Peso de Agua (gr)	13.2	15.1	19.1	21.5	23.1
Peso de Tara (gr)	36.6	34.6	36.0	33.2	37.3
Peso de Material Seco (gr)	98.0	93.5	102.5	100.4	94.4
Contenido de Humedad (%)	13.5	16.1	18.6	21.4	24.5



Gráfica IV.9 Líneas de Tendencias para obtener $\delta_{máx.}$ y $H_{opt.}$

Tabla IV.7 Resultados Obtenidos de Pruebas de Compactación.

Proctor Estándar

Muestra N°	% H Optimo	Peso Volumétrico Seco Máximo (Kg/m³)
1	21.9	1,437.0
2	20.9	1,445.0
3	20.2	1,445.0
Promedio	21	1,442.0

Proctor Modificado

Muestra N°	% H Optimo	Peso Volumétrico Seco Máximo (Kg/m³)
1	19.2	1,557.0
2	18	1,550.0
3	18.8	1,560.0
Promedio	18.7	1,556.0

Tabla IV.8 Propiedades Volumétricas y Gravimétricas del Material Selecto Compactado

Descripción	<i>n</i> (%)	<i>e</i>	<i>S_r</i> (%)
Proctor Estándar	37	0.58	83
Proctor Modificado	32	0.47	91

4.5 Relación de Carga California (CBR)

Prueba de CBR saturado (Estándar)

P.V.S. Máximo (Kg/m ³)	1,442.0	Humedad Óptima (%)	21
Peso del Martillo (Lbs.)	5.5	Numero de Capas	3
Altura de Caída (Plg)	12	Sobrecarga (Lbs.)	15
Altura del Espécimen (cm)	12.7	Volumen del Espécimen (Lts)	2.315

Grado de Compactación

Molde (Nº)	11	32	16
Nº de golpes por Capa	16	36	71
Peso del Material Húmedo + Molde (Kg)	10.791	11.071	11.288
Peso del Molde (Kg)	7.180	7.200	7.240
Peso del Material Húmedo (Kg)	3.611	3.871	4.048
P.V.H. (Kg/m ³)	1,560.0	1,672.0	1,749.0
Humedad (%)	19.2	20.8	20.7
P.V.S. (Kg/m ³)	1,309.0	1,384.0	1,449.0
% de compact. Reproducido	91	96	100

Resistencia a la Penetración

<i>Penetración Sometida (Plg)</i>	<i>Deformación</i>	<i>Carga (Kg)</i>	<i>Deformación</i>	<i>Carga (Kg)</i>	<i>Deformación</i>	<i>Carga (Kg)</i>
0,025	15	70.0	24	111.0	27	125.0
0,050	36	167.0	51	237.0	61	283.0
0,075	62	288.0	86	399.0	95	441.0
0,100 (1360,85 Kg)	83	385.0	110	511.0	124	576.0
0,150	122	566.0	166	771.0	183	849.0
0,200 (2041,28 Kg)	158	733.0	214	993.0	233	1,082.0
0,300	214	993.0	290	1,346.0	331	1,536.0
C.B.R. (Corregido)						

Hinchamiento

Lectura Final (mm)	0.92	0.91	0.91
Lectura Inicial (mm)	0.90	0.90	0.90
Diferencia de Lecturas (mm)	0.02	0.01	0.01
Hinchamiento (%)	0.02	0.01	0.01
Tiempo en Saturación (Hr)	96	96	96

Determinación de la Humedad (Estándar)

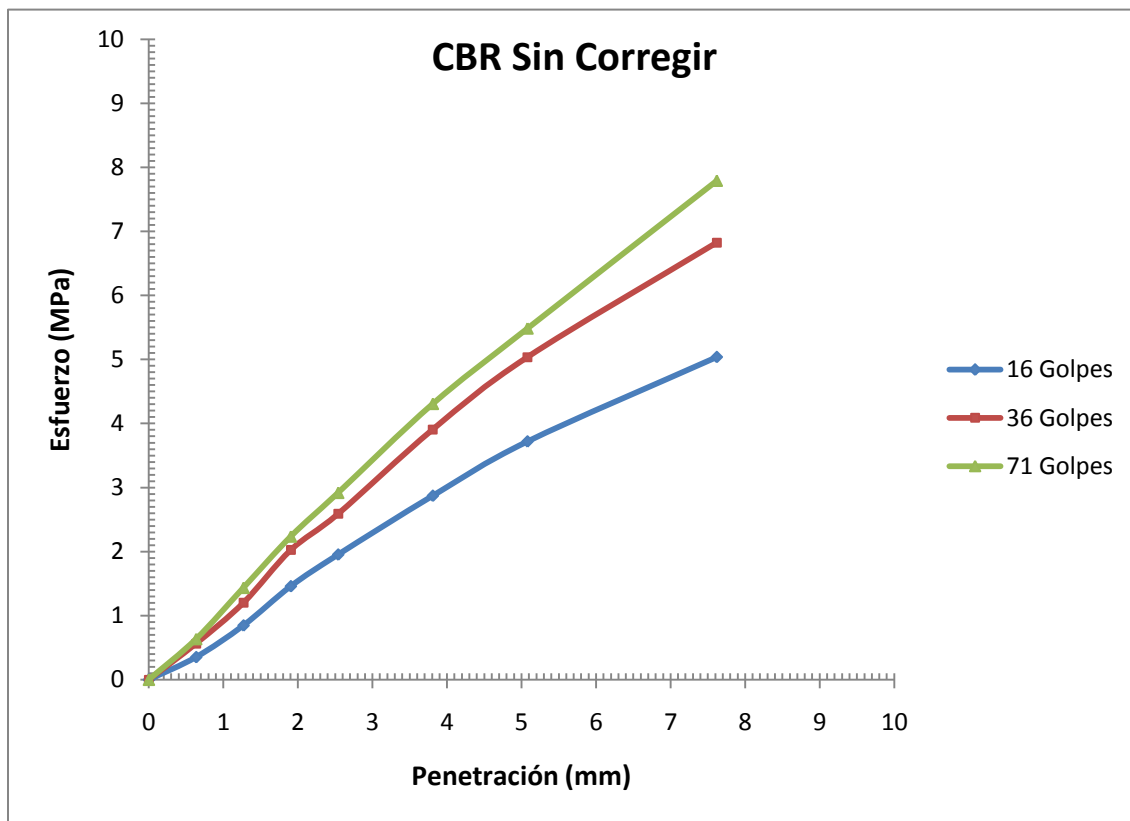
<i>Ensaye N°</i>	<i>1(16 golpes)</i>	
Recipiente N°	A-29	A-86
Peso Húmedo + Recipiente (gr)	114.8	125.3
Peso Seco + Recipiente (gr)	100.2	110.0
Agua (gr)	14.6	15.3
Peso Seco + Recipiente (gr)	100.2	110.0
Peso del Recipiente (gr)	26.8	27.6
Peso Seco - Recipiente (gr)	73.4	82.4
Contenido de Humedad (%)	19.9	18.6
Promedio de Humedades (%)	19.2	

<i>Ensaye N°</i>	<i>2(36 golpes)</i>	
Recipiente N°	A-63	A-98
Peso Húmedo + Recipiente (gr)	130.4	116.5
Peso Seco + Recipiente (gr)	112.4	100.9
Agua (gr)	18.0	15.6
Peso Seco + Recipiente (gr)	112.4	100.9
Peso del Recipiente (gr)	26.3	25.2
Peso Seco - Recipiente (gr)	86.1	75.7
Contenido de Humedad (%)	20.9	20.6
Promedio de Humedades (%)	20.8	

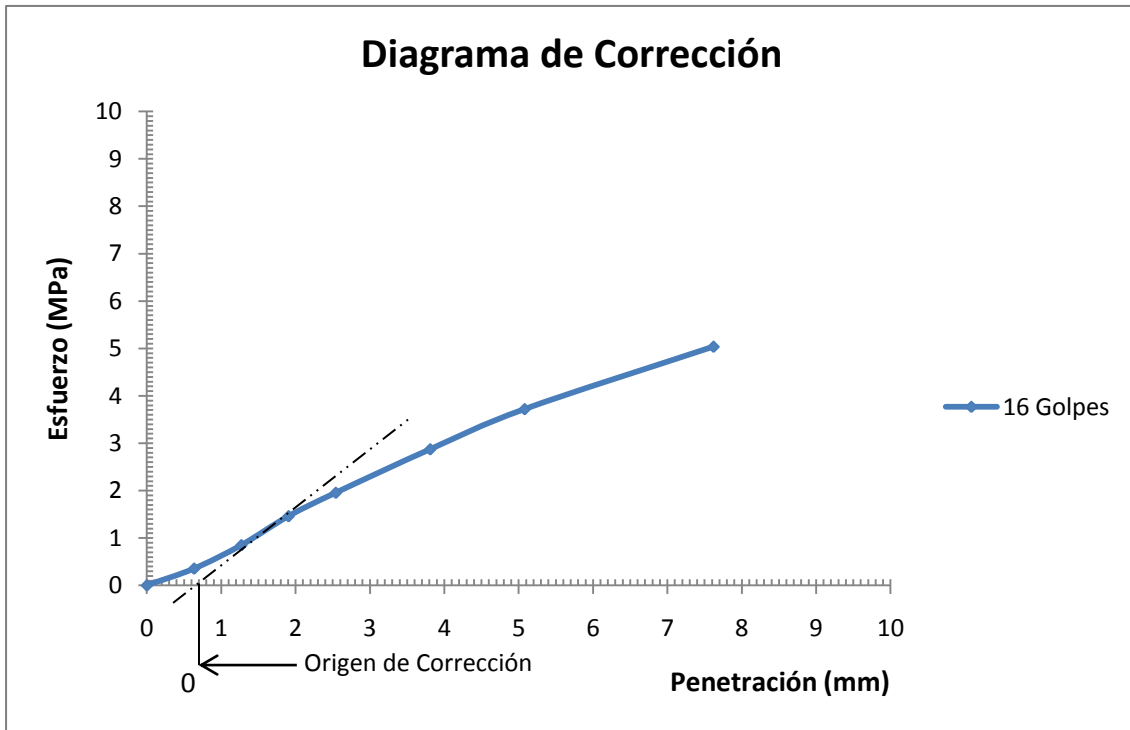
<i>Ensaye N°</i>	<i>3(71 golpes)</i>	
Recipiente N°	A-41	A-190
Peso Húmedo + Recipiente (gr)	108.5	94.7
Peso Seco + Recipiente (gr)	94.3	82.4
Agua (gr)	14.2	12.3
Peso Seco + Recipiente (gr)	94.3	82.4
Peso del Recipiente (gr)	25.4	23.4
Peso Seco - Recipiente (gr)	68.9	59.0
Contenido de Humedad (%)	20.6	20.8
Promedio de Humedades (%)	20.7	

Tabla IV.9 Valores de Resistencia a la Penetración (Datos sin Corregir)

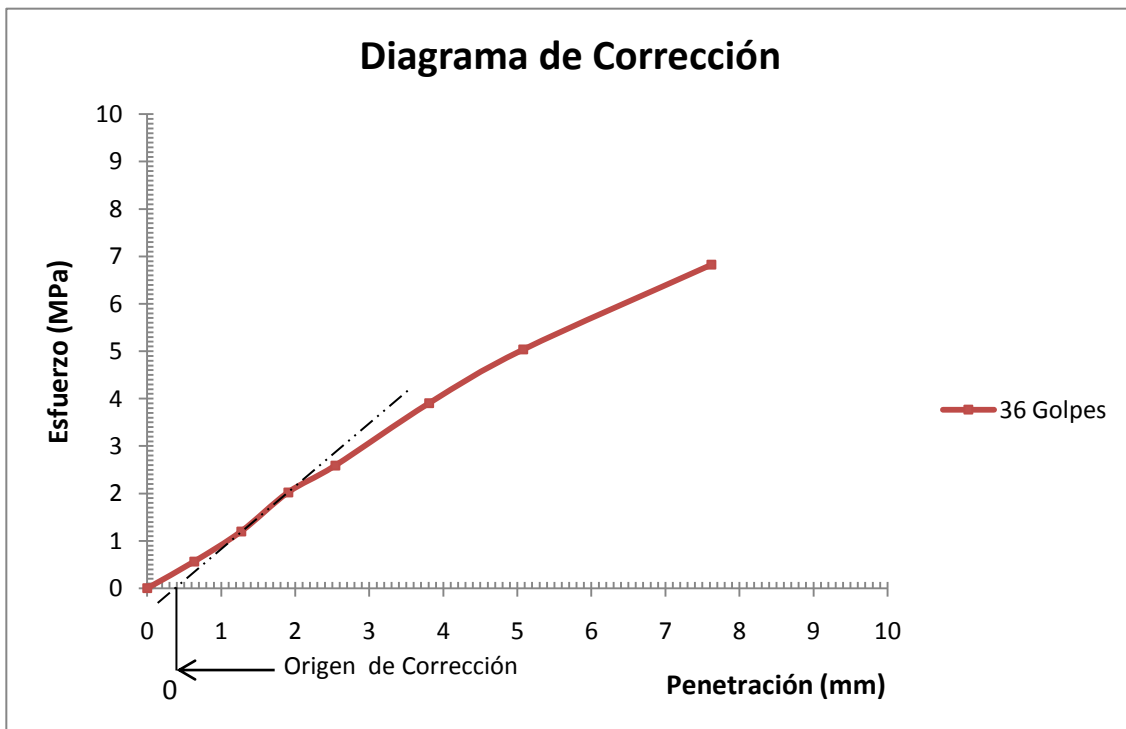
Penetración		16 Golpes (MPa)	36 Golpes (MPa)	71 Golpes (MPa)
Plg	mm			
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.025	0.6	0.4	0.6	0.6
0.05	1.3	0.8	1.2	1.4
0.075	1.9	1.5	2.0	2.2
0.1	2.5	2.0	2.6	2.9
0.15	3.8	2.9	3.9	4.3
0.2	5.1	3.7	5.0	5.5
0.3	7.6	5.0	6.8	7.8



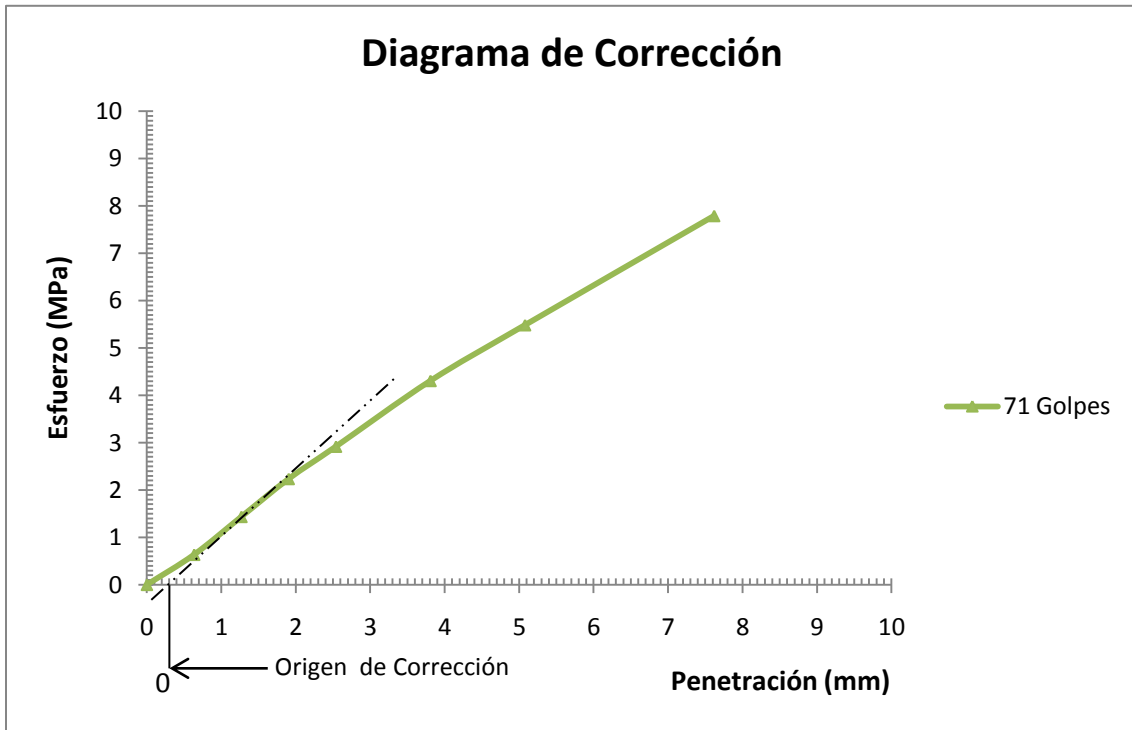
Gráfica IV.10 Comportamiento de Esfuerzo Vs Deformación a distintos números de Golpes.



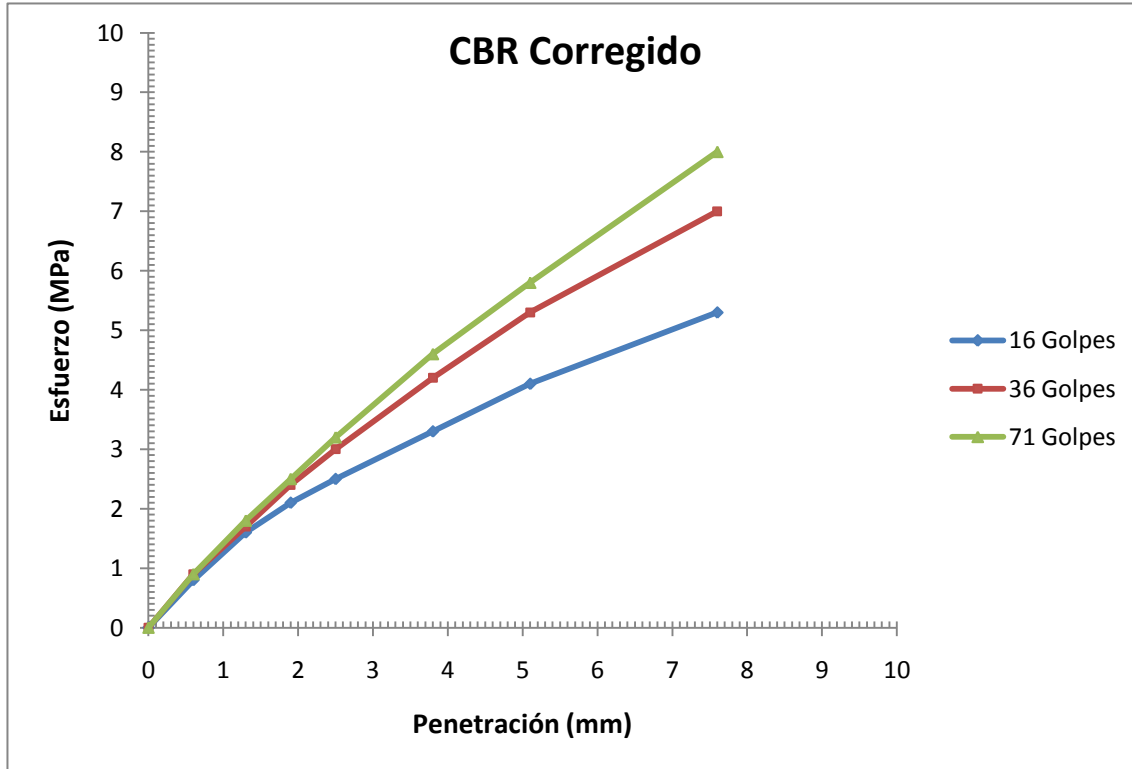
Gráfica IV.11 Corrección del Comportamiento de Esfuerzo Vs Deformación a 16 Golpes.



Gráfica IV.12 Corrección del Comportamiento de Esfuerzo Vs Deformación a 36 Golpes.



Gráfica IV.13 Corrección del Comportamiento de Esfuerzo Vs Deformación a 71 Golpes.

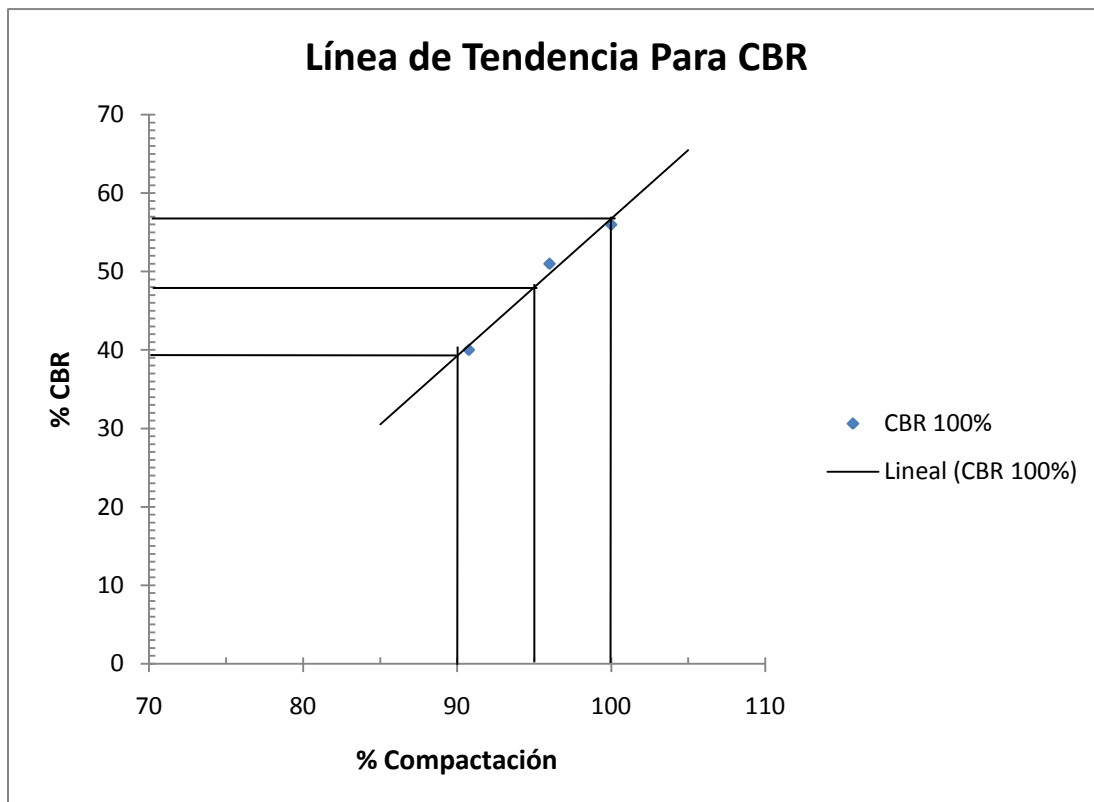


Gráfica IV.14 Comportamiento de Esfuerzo Vs Deformación Corregido.

Tabla IV.10 Resultados Prueba de CBR.
CBR Estándar

Resistencia a la Penetración (Datos Corregido)

Penetración		Esfuerzo		
Plg.	mm	16 Golpes (MPa)	36 Golpes (MPa)	71 Golpes (MPa)
0.0	0.0	0	0	0
0.025	0.6	0.8	0.9	0.9
0.05	1.3	1.6	1.7	1.8
0.075	1.9	2.1	2.4	2.5
0.1	2.5	2.5	3.0	3.2
0.15	3.8	3.3	4.2	4.6
0.2	5.1	4.1	5.3	5.8
0.3	7.6	5.3	7.0	8.0
% de CBR Obtenidos				
0.2	5.1	4.1	5.3	5.8
Carga patrón (MPa)		10.3	10.3	10.3
% de CBR		40	51	56
% de Compactación		91	96	100



Gráfica IV.15 Obtención de Valores de CBR para distintos % de Compactación.

Prueba de CBR saturado (Modificado)

P.V.S. Máximo (Kg/m ³)	1,556.0	Humedad Óptima (%)	18.7
Peso del Martillo (Lbs.)	11	Número de Capas	5
Altura de Caída (Plg)	18	Sobrecarga (lbs.)	10
Altura del Espécimen (cm)	12.7	Volumen del Espécimen (Lts)	2.315

Grado de Compactación

Molde (Nº)	25	0-7	0-2
Nº de golpes por Capa	16	36	71
Peso del Material Húmedo + Molde (Kg)	11.138	11.433	11.660
Peso del Molde (Kg)	7.155	7.270	7.290
Peso del Material Húmedo (Kg)	3.983	4.163	4.370
P.V.H. (Kg/m ³)	1,721.0	1,798.0	1,888.0
Humedad (%)	18.4	18.7	19.7
P.V.S. (Kg/m ³)	1,453.0	1,515.0	1,577.0
% de compact. Reproducido	93	97	101

Resistencia a la Penetración

<i>Penetración Sometida (Plg)</i>	<i>Deformación</i>	<i>Carga (Kg)</i>	<i>Deformación</i>	<i>Carga (Kg)</i>	<i>Deformación</i>	<i>Carga (Kg)</i>
0,025	26	121.0	55	255.0	68	316.0
0,050	62	288.0	130	603.0	146	678.0
0,075	100	464.0	195	905.0	227	1,054.0
0,100 (1360,85 Kg)	156	724.0	253	1,174.0	338	1,569.0
0,150	233	1,082.0	353	1,639.0	477	2,214.0
0,200 (2041,28 Kg)	298	1,383.0	420	1,950.0	570	2,646.0
0,300	391	1,815.0	580	2,692.0	740	3,435.0
C.B.R. (Corregido)						

Hinchamiento

Lectura Final (mm)	0.91	0.90	0.90
Lectura Inicial (mm)	0.90	0.90	0.90
Diferencia de Lecturas (mm)	0.01	0.00	0.00
Hinchamiento (%)	0.01	0.00	0.00
Tiempo en Saturación (Hr)	96	96	96

Determinación de la Humedad (Modificado)

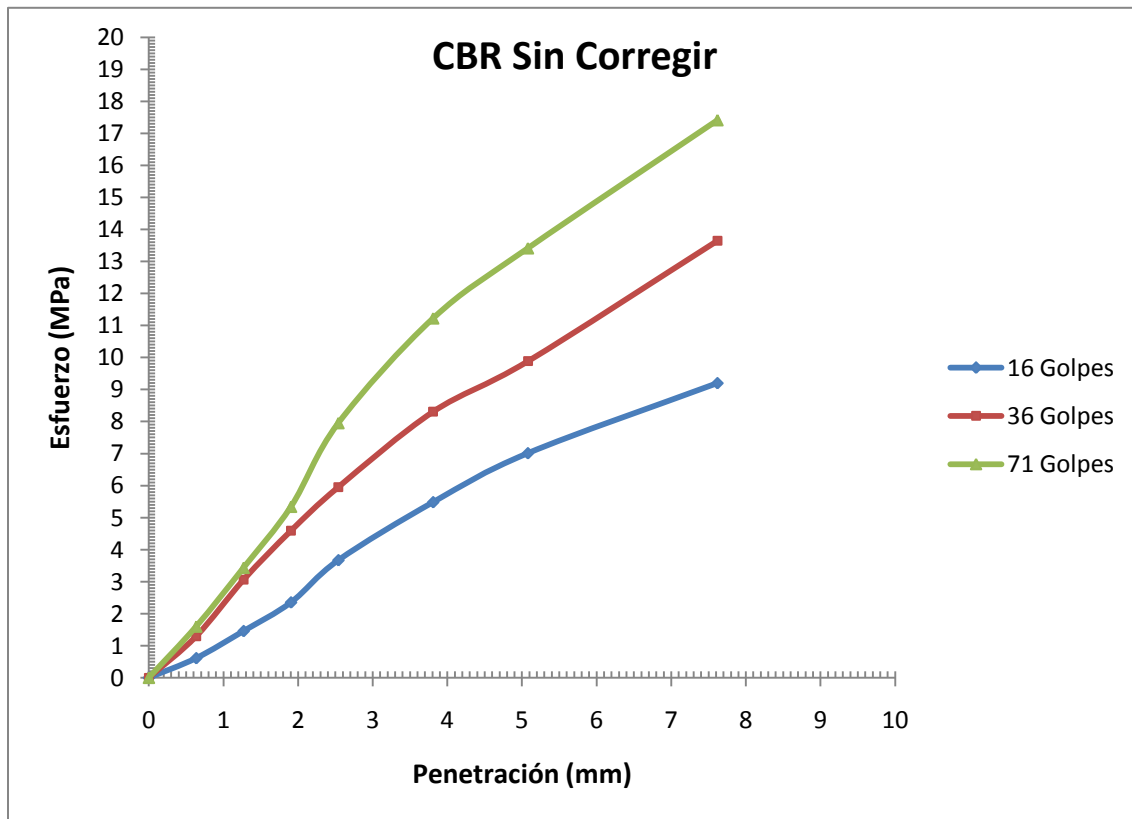
<i>Ensaye N°</i>	<i>1(16golpes)</i>	
Recipiente N°	A-100	A-199
Peso Húmedo + Recipiente (gr)	104.7	92.4
Peso Seco + Recipiente (gr)	93.1	81.3
Agua (gr)	11.6	11.1
Peso Seco + Recipiente (gr)	93.1	81.3
Peso del Recipiente (gr)	24.0	26.1
Peso Seco - Recipiente (gr)	69.1	55.2
Contenido de Humedad (%)	16.8	20.1
Promedio de Humedades (%)	18.4	

<i>Ensaye N°</i>	<i>2(36 golpes)</i>	
Recipiente N°	A-50	A-65
Peso Húmedo + Recipiente (gr)	105.6	96.6
Peso Seco + Recipiente (gr)	93.7	84.9
Agua (gr)	11.9	11.7
Peso Seco + Recipiente (gr)	93.7	84.9
Peso del Recipiente (gr)	26.1	25.7
Peso Seco - Recipiente (gr)	67.6	59.2
Contenido de Humedad (%)	17.6	19.8
Promedio de Humedades (%)	18.7	

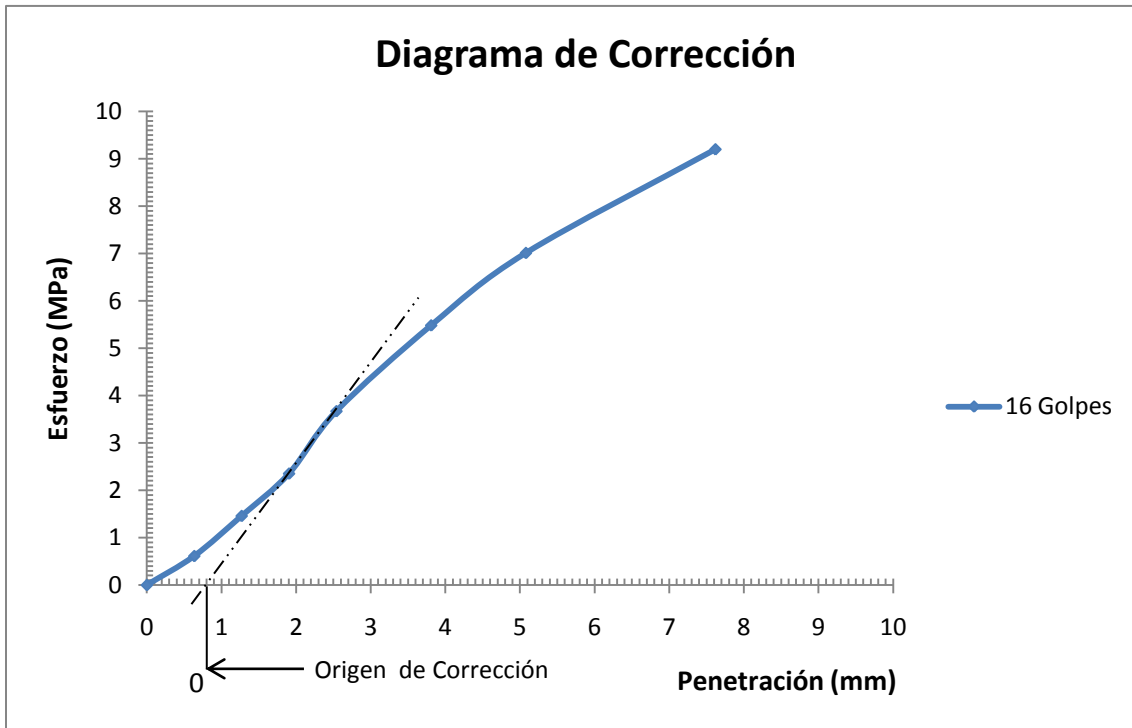
<i>Ensaye N°</i>	<i>3(71 golpes)</i>	
Recipiente N°	A-73	A-83
Peso Húmedo + Recipiente (gr)	132.5	112.3
Peso Seco + Recipiente (gr)	115.0	98.3
Agua (gr)	17.5	14.0
Peso Seco + Recipiente (gr)	115.0	98.3
Peso del Recipiente (gr)	28.5	25.4
Peso Seco - Recipiente (gr)	86.5	72.9
Contenido de Humedad (%)	20.2	19.2
Promedio de Humedades (%)	19.7	

Tabla IV.11 Valores de Resistencia a la Penetración (Datos sin Corregir)

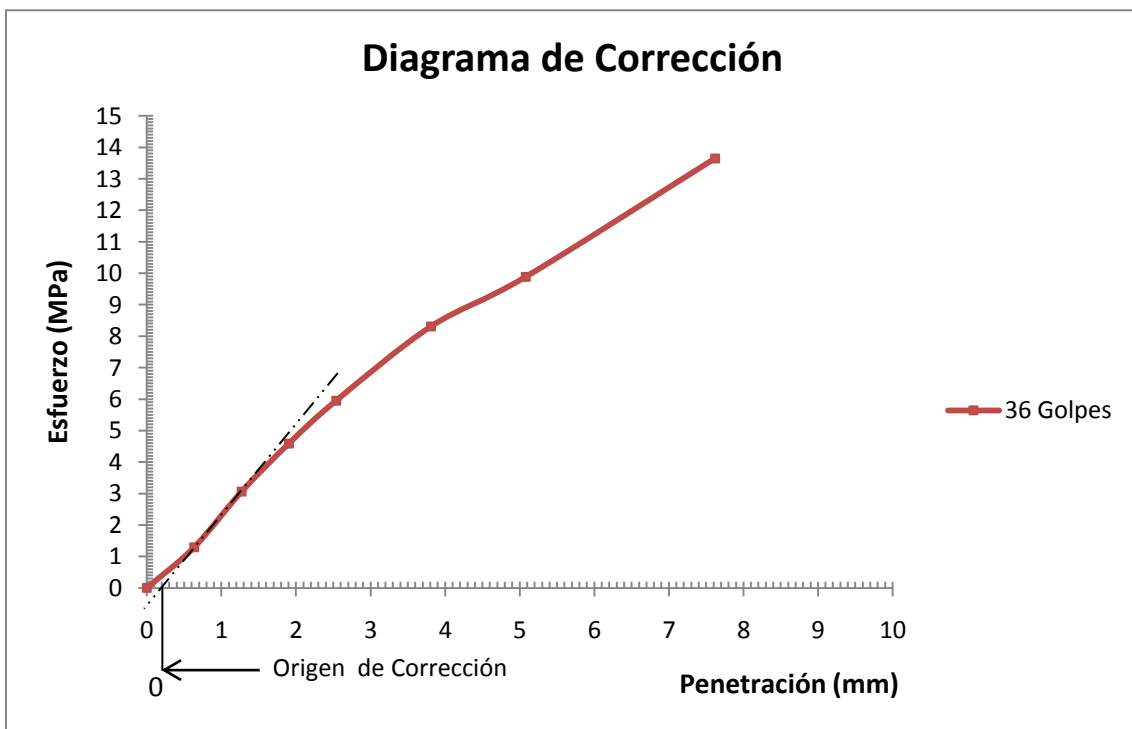
Penetración		Esfuerzo		
Plg	mm	16 Golpes (MPa)	36 Golpes (MPa)	71 Golpes (MPa)
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.025	0.6	0.6	1.3	1.6
0.05	1.3	1.5	3.1	3.4
0.075	1.9	2.4	4.6	5.3
0.1	2.5	3.7	6.0	8.0
0.15	3.8	5.5	8.3	11.2
0.2	5.1	7.0	9.9	13.4
0.3	7.6	9.2	13.6	17.4



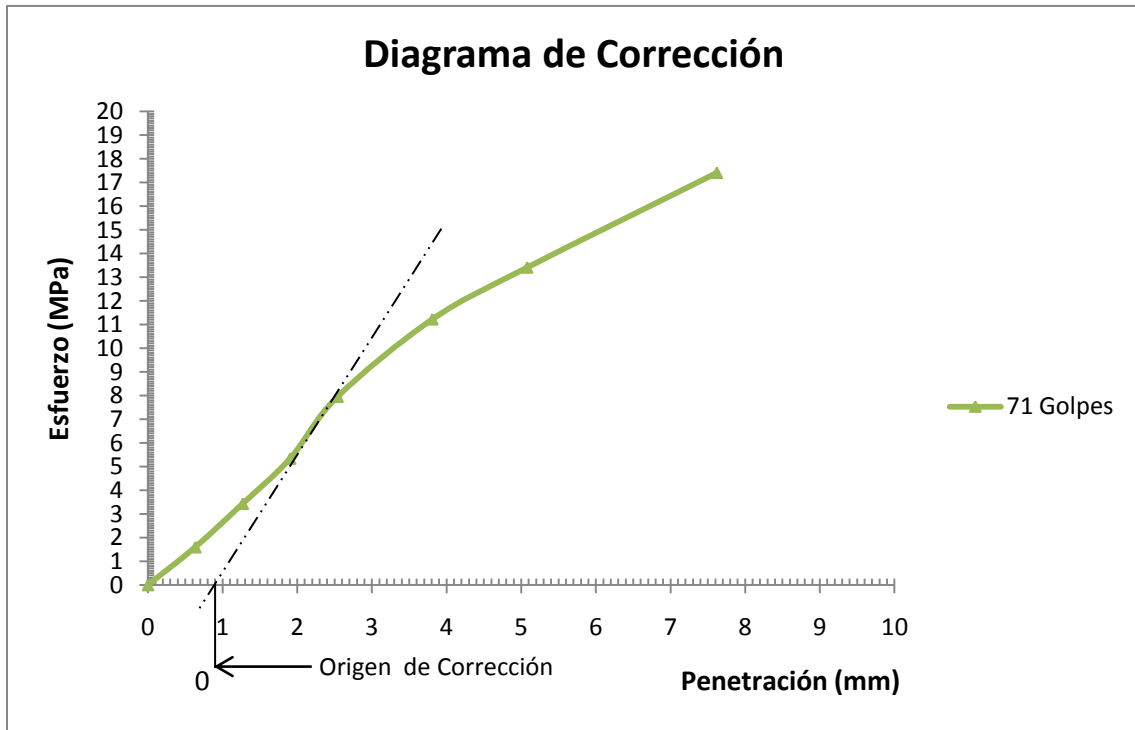
Gráfica IV.16 Comportamiento de Esfuerzo Vs Deformación a distintos números de Golpes.



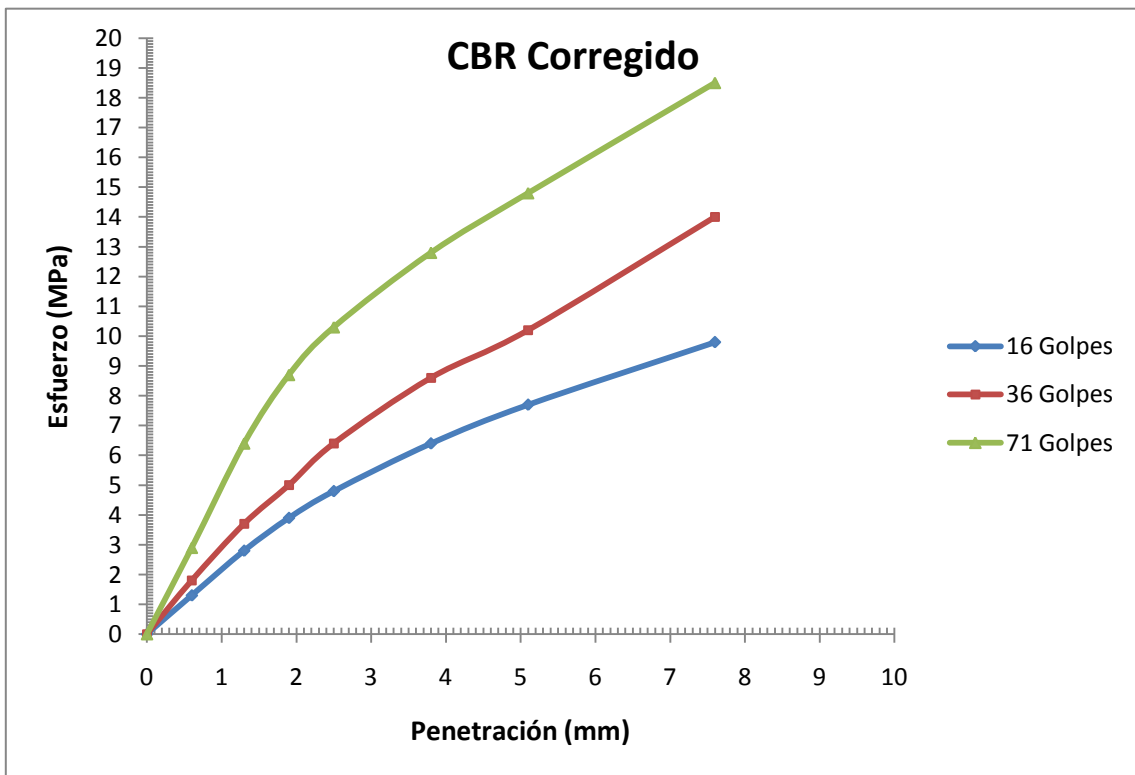
Gráfica IV.17 Corrección del Comportamiento de Esfuerzo Vs Deformación a 16 Golpes.



Gráfica IV.18 Corrección del Comportamiento de Esfuerzo Vs Deformación a 36 Golpes.



Gráfica IV.19 Corrección del Comportamiento de Esfuerzo Vs Deformación a 71 Golpes.

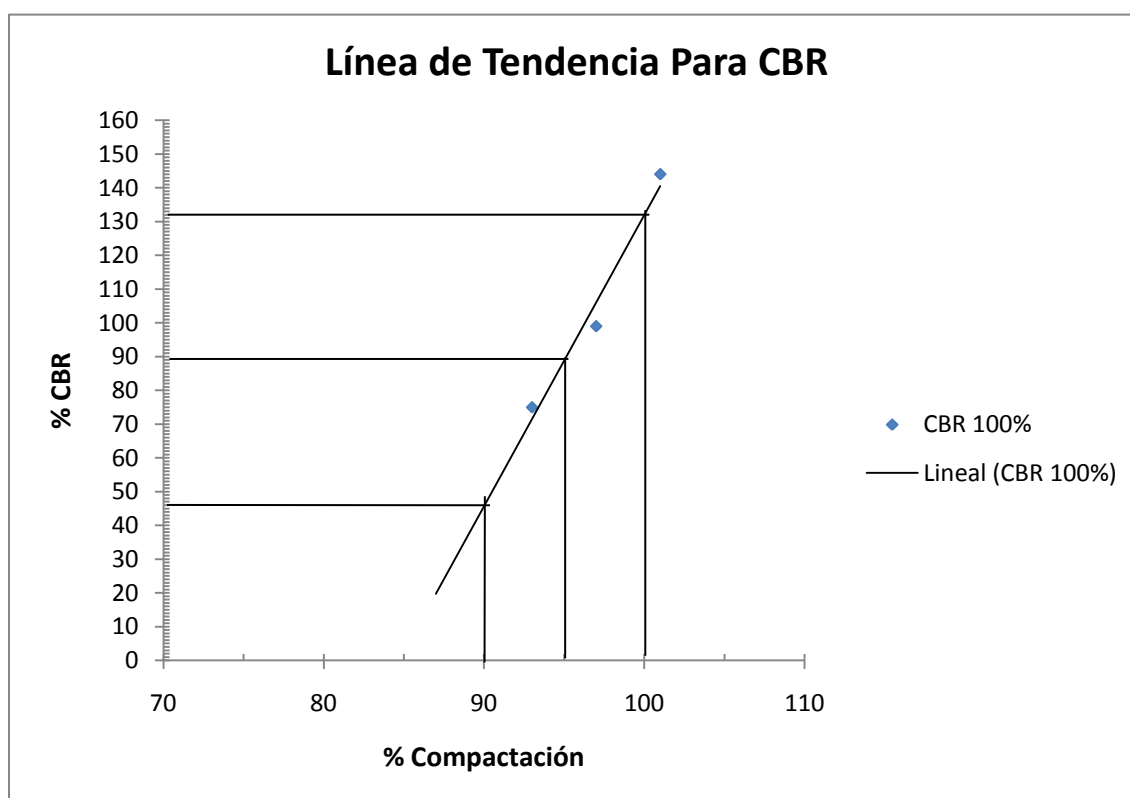


Gráfica IV.20 Comportamiento de Esfuerzo Vs Deformación Corregido.

Tabla IV.12 Resultados Prueba de CBR.
CBR Modificado

Resistencia a la Penetración (Datos Corregido)

Penetración		Esfuerzo		
Plg.	mm	16 Golpes (MPa)	36 Golpes (MPa)	71 Golpes (MPa)
0.0	0.0	0	0	0
0.025	0.6	1.3	1.8	2.9
0.05	1.3	2.8	3.7	6.4
0.075	1.9	3.9	5.0	8.7
0.1	2.5	4.8	6.4	1.3
0.15	3.8	6.4	8.6	12.8
0.2	5.1	7.7	10.2	14.8
0.3	7.6	9.8	14.0	18.5
% de CBR Obtenidos				
0.2	5.1	7.7	10.2	14.8
Carga patrón (MPa)		10.3	10.3	10.3
% de CBR		75	99	144
% de Compactación		93	97	101



Gráfica IV.21 Obtención de Valores de CBR para distintos % de Compactación.

Tabla IV.13 Valores de CBR para los diferentes Porcentajes de Compactación.**Banco “San Isidro”**

CBR Estándar	
% de Compactación	% de CBR
90	39
95	48
100	57
CBR Modificado	
% de Compactación	% de CBR
90	46
95	89
100	132

Tabla IV.14 Informe de Ensayes de Suelos.
Banco “San Isidro”

Granulometría	
Tamaño Máximo	3/8”
Relación de Finos	0.59
Límites de Atterberg	
Límite Líquido	-
Índice de Plasticidad	NP
Clasificación	
Clasificación H.R.B	A-1-b(0)
Clasificación S.U.C.S	SM
Pruebas de Compactación	
Proctor Estándar	
Peso Volumétrico Seco Máximo (Kg/m ³)	1,442.0
Humedad Óptima (%)	21
Enjuntamiento	0.98
Porosidad (%)	37
Relación de Vacíos	0.58
Grado de Saturación (%)	83
Proctor Modificado	
Peso Volumétrico Seco Máximo (Kg/m ³)	1,556.0
Humedad Óptima (%)	18.7
Enjuntamiento	0.91
Porosidad (%)	32
Relación de Vacíos	0.47
Grado de Saturación (%)	91
C.B.R. Estándar	
% de Compactación	% de CBR
90	39
95	48
100	57
C.B.R. Modificado	
% de Compactación	% de CBR
90	46
95	89
100	132
Pesos Volumétricos	
Peso Volumétrico Seco Suelto (Kg/m ³)	1,247.0
Peso Volumétrico Seco Varillado (Kg/m ³)	1,416.0
Abundamiento	1.14
Gravedad Específica	
2.28	

Tabla IV.15 Análisis de Resultados para Uso Ingenieril conforme a Normativas y Especificaciones

Banco	Normativa de Referencia	Especificaciones		Resultados Obtenidos del Banco		Observación
San Isidro Libertador	Clasificación AASHTO	Explanada y Subrasante	Tamiz % Q.P. No. 40 = 50 máx. No.200 = 25 máx.	Tamiz % Q.P. No. 40 = 33 No.200 = 19	Se clasifica como A-1-b(0), presentando una calidad excelente para este uso en particular y es altamente estable bajo condiciones críticas, debido a que su índice de grupo pone de manifiesto la ausencia de material arcilloso.	
	NIC - 2000	Sub-base	Tamiz % Q.P. 1 ½ " = 100 No. 4 = 35 - 65 No. 200 = 0 - 10	Tamiz % Q.P. 1 ½ " = 99 No. 4 = 74 No. 200 = 19	El material no cumple con la normativa granulométrica para dicho uso, sin embargo, satisface las normativas bajo la perspectiva de plasticidad y resistencia mecánica. Alcanzando valores de CBR > 50 % para un porcentaje de compactación del 100 % y 95 % Proctor estándar y modificado respectivamente.	
			L.L. = 25 máx. I.P. = 6 máx. C.B.R. = 50 min.	L.L. = 0 I.P. = 0 C.B.R. = 57 - 132.		
	Principios de Diseño de Pavimentos, Jhon Wiley & Sons, 1959	Sub-base	C.B.R. = 20 - 50 SUCS = GM, GC, GW, GP, SM, SP. AASHTO = A-1-b, A-2-5, A-3, A-2-6	C.B.R. = 39 - 48 SUCS = SM AASHTO = A-1-b(0)	Presenta una buena calidad, cumpliendo la normativa de clasificación y resistencia mecánica, manteniendo un % de compactación ≥ 90 % estándar e = 90 % modificado.	
		Base	C.B.R. = > 50 SUCS = GM, GC, GW, GP, SM, SP. AASHTO = A-1-a, A-1-b, A-2-5, A-3, A-2-4, A-2-6	C.B.R. = 57 - 132 SUCS = SM AASHTO = A-1-b(0)	Presenta una buena calidad, cumpliendo la normativa de clasificación y resistencia mecánica, manteniendo un % de compactación al 100 % estándar y ≥ 95 % modificado.	
	ASTM D-1241	Base	Ver tabla II.4 Pag.36	Tamiz% Q.P 1 " = 98 3/8 " = 88 No. 4 = 74	Tamiz% Q.P No. 10 = 56 No. 40 = 33 No. 200 = 19	Según rangos granulométricos este material no cumple, sin embargo, bajo la perspectiva de plasticidad y resistencia mecánica se cumple con la normativa, manteniendo un % de compactación ≥ 95 % modificado, para alcanzar valores de CBR > 80 %.
L.L. = 0 I.P. = 0 C.B.R. = 89 - 132 PVSV = 1416 Kg/m3						
Laboratorios IMS	Revestimiento De Caminos	Tamiz % Q.P. 2" = 100 No. 4 = 40 - 60 No. 40 = 20 - 35 No. 200 = 8 - 15	Tamiz % Q.P. 2" = 100 No. 4 = 74 No. 40 = 33 No. 200 = 19	Según rangos granulométricos y criterios de plasticidad este no puede ser utilizado para revestimientos, sin embargo cumple bajo perspectivas de resistencia mecánica manteniendo un porcentaje mínimo de compactación de 90 % estándar.		
		L.L. = 40 máx. I.P. = 4 - 10 máx. C.B.R. = 30 min.	L.L. = 0 I.P. = 0 C.B.R. = > 39			

CAPITULO V: Banco LA VETA





El Banco de Material Selecto, La Veta Internacional está situado en el kilómetro ocho, Carretera Nueva hacia León. Su propietario el Señor Edward Arróliga Díaz, nos informa que la extensión de terreno del banco es de aproximadamente 20 manzanas. El banco posee yacimientos de material selecto color amarillo y gris, siendo este último el de mejor calidad, también encontramos la presencia de escoria volcánica u hormigón como popularmente se le conoce, pero este no tiene mucha demanda en cuanto a la explotación y venta. En este banco el metro cúbico de material se evalúa en 130 córdobas. El banco cuenta con un volumen aprovechable de 2, 000,000 m³ según información brindada por el dueño del Banco; señor Edward Arróliga.

SELECTO GRIS OSCURO



5.1.1 Análisis Granulométrico y Pesos Volumétricos

Muestra N°1

Determinación de la composición Granulométrica y Pesos Volumétricos del Material Seco Suelto

Composición Granulométrica del material Retenido en la malla N° 4

Malla	PRP(gr)	% RP	% RA	% QP
1½"	-	-	-	100
1"	189.0	4	4	96
¾"	96.0	2	6	94
⅜"	162.0	4	10	90
N° 4	333.0	7	17	83
Pasa N° 4	3,824.0	83	100	-
Suma	4,604.0	100	-	-

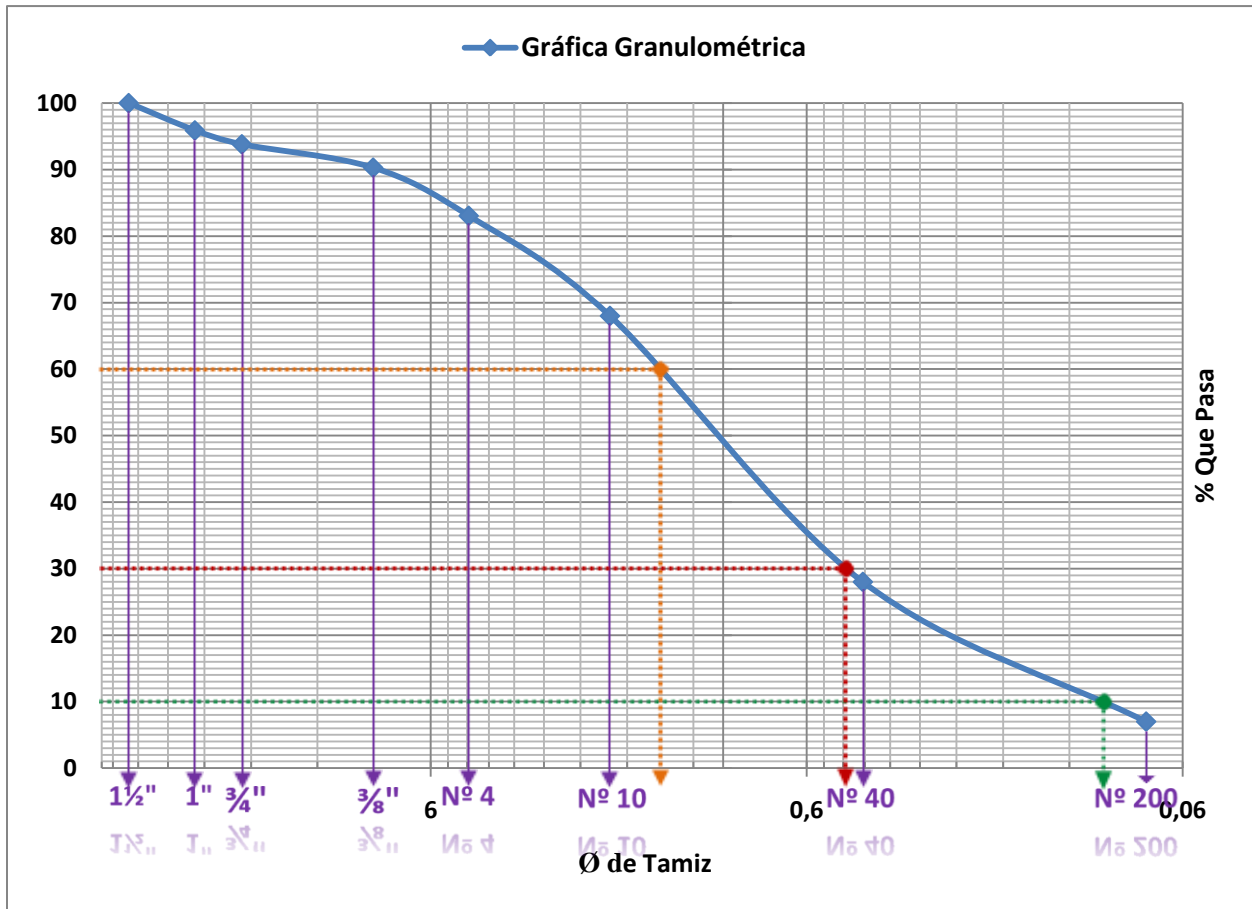
Determinación de Pesos	
PSS (gr)	4,327.0
PSC (gr)	4,605.0
Volumen (cm³)	2,850.0
Peso Volumétrico (Kg/m³)	
PVSS	1,518.0
PVSV	1,616.0

Composición Granulométrica del material que pasa la malla N° 4 (Lavado)

Malla	Peso Retenido Parcial (gr)		% Retenido Parcial		% RP (Promedio)	% RA	% QP
N° 10	25.5	32.5	13	16	15	32	68
N° 40	75.7	81.3	39	41	40	72	28
N° 200	46.1	38.2	24	19	21	93	7
Pasa N° 200	15.4	12.8	8	6	7	100	-
Suma	162.7	164.8	83	83	83	-	-

Material Lavado (gr)

Prueba No. 1	Peso Seco	163.0	Prueba No. 2	Peso Seco	165.6
	Peso Seco Lavado	147.6		Peso Seco Lavado	152.8
	Pasa N° 200	15.4		Pasa N° 200	12.8



Gráfica V.1 Representación Granulométrica de los porcentajes que pasan por los tamices con aberturas de diámetros variados, para la Muestra 1.

Tabla V.1 Valores Obtenidos de Curva Granulométrica.

D_{60}	D_{30}	D_{10}
0.75	0.39	0.067

Tabla V.2 Resultados Obtenidos de Ensaye Granulométrico.

Tamaño Máximo	3/8"
Relación de Finos	0.25
Peso Volumétrico Seco Suelto (PVSS)	1,518.0 Kg/m ³
Peso Volumétrico Seco Varillado (PVSV)	1,616.0 Kg/m ³

Muestra N°2

Determinación de Composición Granulométrica y Pesos Volumétricos del Material Seco Suelto

Composición Granulométrica del material Retenido en la malla N° 4

Malla	PRP(gr)	% RP	% RA	% QP
1½"	-	-	-	100
1"	46.0	1	1	99
¾"	39.0	1	2	98
⅜"	272.0	6	8	92
N° 4	466.0	11	19	81
Pasa N° 4	3,606.0	81	100	-
Suma	4,429.0	100	-	-

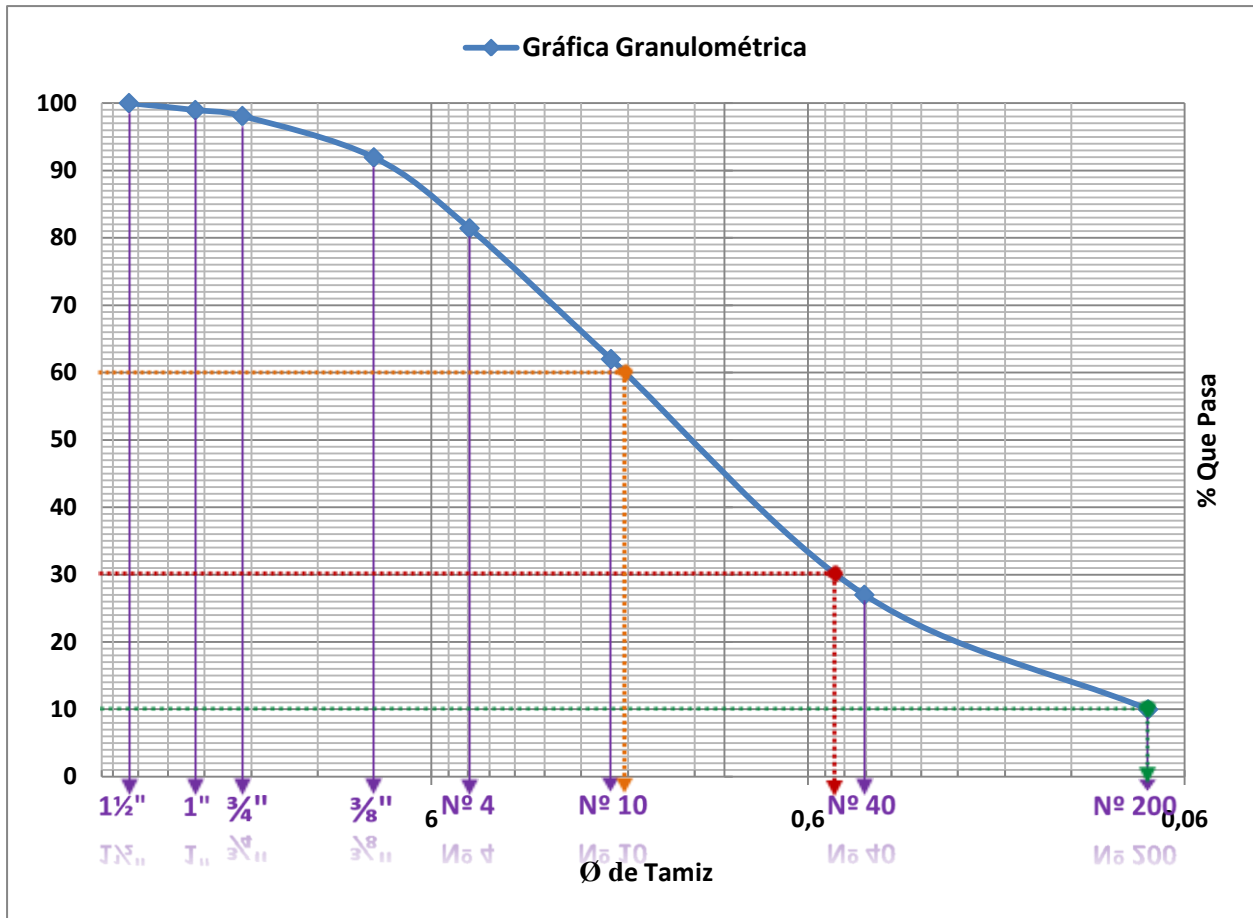
Determinación de Pesos	
PSS (gr)	4,168.0
PSC (gr)	4,440.0
Volumen (cm³)	2,850.0
Peso Volumétrico (Kg/m³)	
PVSS	1,462.0
PVSV	1,558.0

Composición Granulométrica del material que pasa la malla N° 4 (Lavado)

Malla	Peso Retenido Parcial (gr)		% Retenido Parcial		% RP (Promedio)	% RA	% QP
N° 10	38.6	34.5	20	18	19	38	62
N° 40	66.3	67.4	35	36	35	73	27
N° 200	26.3	36.9	14	20	17	90	10
Pasa N° 200	23.6	14.5	12	8	10	100	-
Suma	154.8	153.3	81	81	81	-	-

Material Lavado (gr)

Prueba No. 1	Peso Seco	155.3	Prueba No. 2	Peso Seco	153.4
	Peso Seco Lavado	131.7		Peso Seco Lavado	138.9
	Pasa N° 200	23.6		Pasa N° 200	14.5



Gráfica V.2 Representación Granulométrica de los porcentajes que pasan por los tamices con aberturas de diámetros variados, para la Muestra 2.

Tabla V.3 Valores Obtenidos de Curva Granulométrica.

D ₆₀	D ₃₀	D ₁₀
0.81	0.45	0.063

Tabla V.4 Resultados Obtenidos de Ensaye Granulométrico.

Tamaño Máximo	3/8"
Relación de Finos	0.37
Peso Volumétrico Seco Suelto (PVSS)	1,462.0 Kg/m ³
Peso Volumétrico Seco Varillado (PVSV)	1,558.0 Kg/m ³

Tabla V.5 Resultados Finales de los Análisis Granulométricos y Pesos Volumétricos.

Valores Obtenidos de Ensayes Granulométricos				
Muestra N°	Tamaño Máximo	Relación de Finos	PVSS (Kg/m³)	PVSV (Kg/m³)
1	3/8"	0.25	1,518.0	1,616.0
2	3/8"	0.37	1,462.0	1,558.0
Promedio	3/8"	0.31	1,490.0	1,587.0
Valores Obtenidos de Curvas Granulométricas				
Muestra N°	D₆₀	D₃₀	D₁₀	
1	0.750	0.390	0.067	
2	0.810	0.450	0.063	
Promedio	0.780	0.420	0.065	
$C_u = 12.0$		$C_c = 3.5$		
Arena mal Graduada ($C_u > 6$ y $1 \leq C_c \leq 3$)				

5.1.2 Límites de Atterberg

Tabla V.6 Determinación de Límites de Consistencia.

Muestra N°	
1	No Plástico
2	

5.1.3 Gravedad Específica

Muestra N°1

Ensaye de Densidad Referida al Peso Seco (Gravedad Específica)

Determinación N°	1	2
Frasco N°	13	13
Peso del Frasco Lleno de Agua (P), (g)	689.8	689.8
Peso del Material Saturado y Superficialmente Seco (As), (g)	50.0	50.0
Total (P + As), (g)	739.8	739.8
Peso del Frasco con Agua y Material (W), (g)	721.2	720.9
Volumen Desalojado{(P + As) - W}, (g)	18.6	18.9
Densidad	2.69	2.65
Densidad Promedio	2.67	

Muestra N°2

Ensaye de Densidad Referida al Peso Seco (Gravedad Específica)

Determinación N°	1	2
Frasco N°	25	25
Peso del Frasco Lleno de Agua (P), (g)	673.2	673.2
Peso del Material Saturado y Superficialmente Seco (As), (g)	50.0	50.0
Total (P + As), (g)	723.2	723.2
Peso del Frasco con Agua y Material (W), (g)	704.5	704.5
Volumen Desalojado{(P + As) - W}, (g)	18.7	18.7
Densidad	2.67	2.67
Densidad Promedio	2.67	

Tabla V.7 Resultados Obtenidos de Ensayes de Gravedad Específica.

Muestra N°	Gravedad Específica
1	<i>2.67</i>
2	<i>2.67</i>
Promedio	2.67

5.1.4 Ensayes de Compactación

5.1.4.1 Proctor Estándar

Muestra N°1

Prueba de Compactación Proctor Estándar

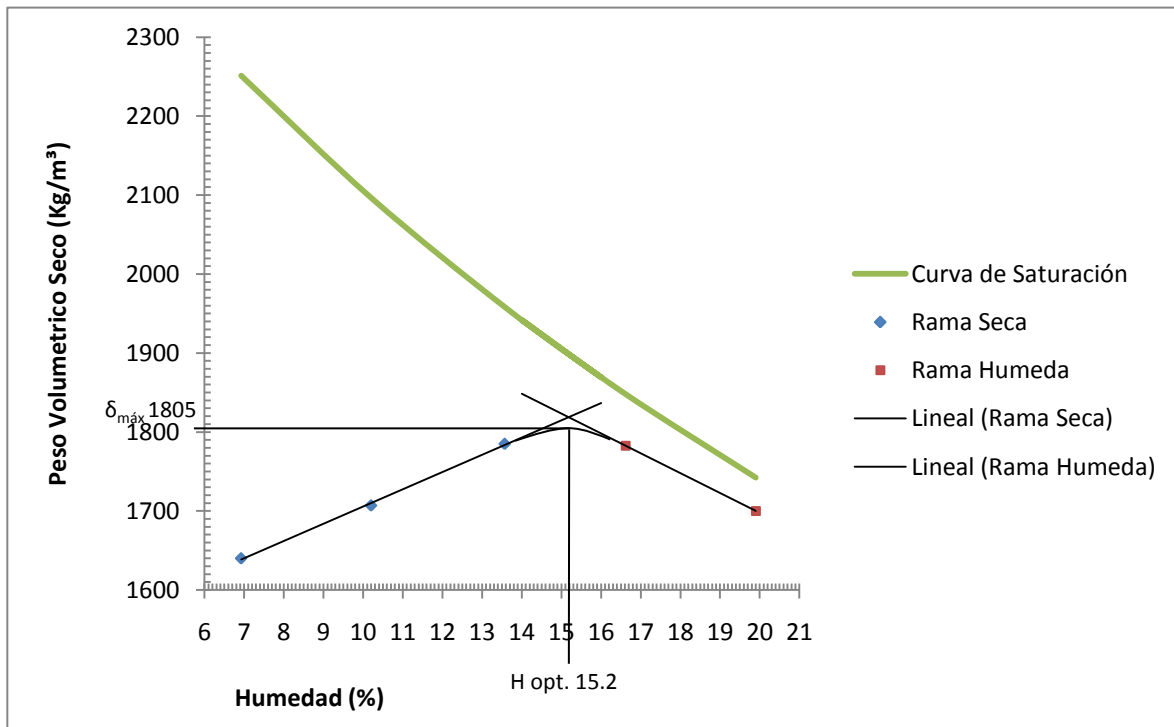
Molde N°: 5 Peso: 4.247 Kg. Volumen : 0.94 Lts Diámetro: 10.16 cm
 Peso del Martillo: 5.5 Lbs Caída: 12" Golpes por capa: 25 N° de Capas: 3

Compactación de la Muestra

Peso del Material + Molde (Kg)	5.895	6.015	6.153	6.201	6.162
Peso del Molde (Kg)	4.247	4.247	4.247	4.247	4.247
Peso del Material en el Molde (Kg)	1.648	1.768	1.906	1.954	1.915
Peso Volumétrico Húmedo (Kg/m³)	1,753.0	1,881.0	2,028.0	2,079.0	2,037.0
Peso Volumétrico Seco (Kg/m³)	1,640.0	1,707.0	1,785.0	1,783.0	1,700.0

Contenido de Agua de la Muestra Compactada

Tara N°	117	136	110	124	28
Peso de la Tara + Material Húmedo (gr)	171.1	157.1	157.0	158.2	167.6
Peso de la Tara + Material Seco (gr)	162.3	145.9	143.2	141.0	145.5
Peso de Agua (gr)	8.8	11.2	13.8	17.2	22.1
Peso de Tara (gr)	35.2	35.7	41.5	37.5	34.2
Peso de Material Seco (gr)	127.1	110.2	101.7	103.5	111.3
Contenido de Humedad (%)	6.9	10.2	13.6	16.6	19.9



Gráfica V.3 Líneas de Tendencias para obtener $\delta_{máx.}$ y $H_{opt.}$

Muestra N°2

Prueba de Compactación Proctor Estándar

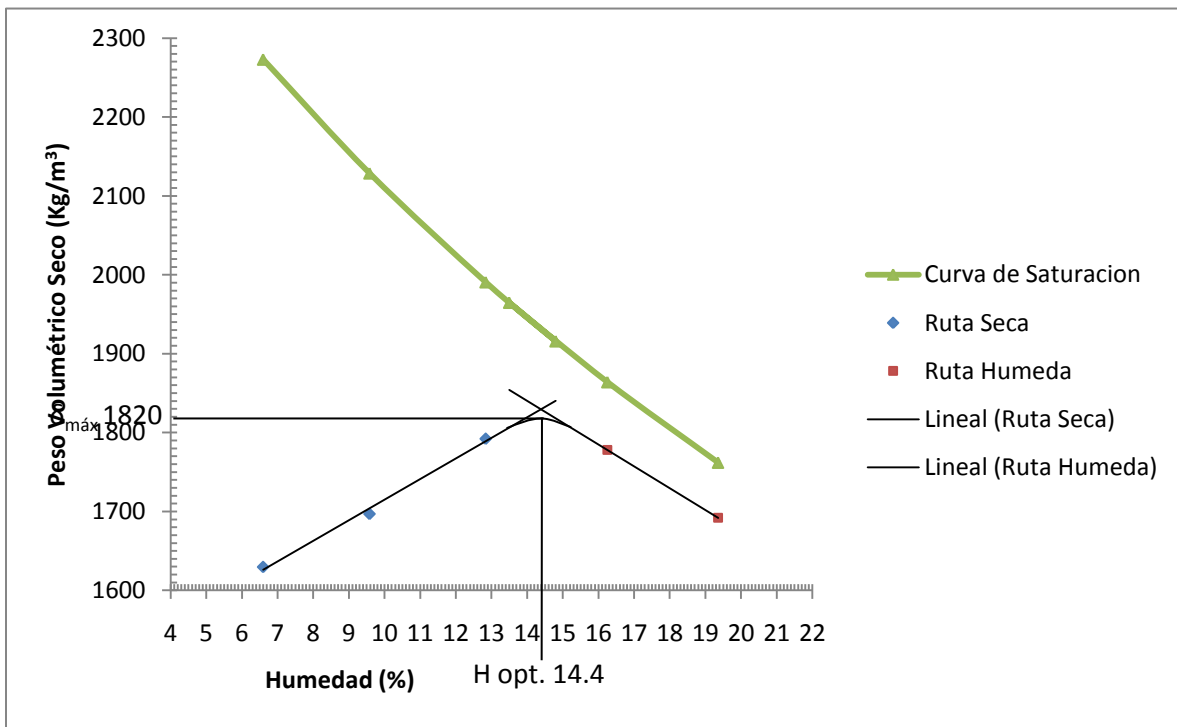
Molde N°: 5 Peso: 4.247 Kg. Volumen : 0.94 Lts Diámetro: 10.16 cm
 Peso del Martillo: 5.5 Lbs Caída: 12" Golpes por capa: 25 N° de Capas: 3

Compactación de la Muestra

Peso del Material + Molde (Kg)	5.880	5.995	6.148	6.190	6.145
Peso del Molde (Kg)	4.247	4.247	4.247	4.247	4.247
Peso del Material en el Molde (Kg)	1.633	1.748	1.901	1.943	1.898
Peso Volumétrico Húmedo (Kg/m ³)	1,737.0	1,860.0	2,022.0	2,067.0	2,019.0
Peso Volumétrico Seco (Kg/m ³)	1,630.0	1,697.0	1,792.0	1,778.0	1,692.0

Contenido de Agua de la Muestra Compactada

Tara N°	146	51	116	165	190
Peso de la Tara + Material Húmedo (gr)	171.1	157.1	157.0	158.2	167.6
Peso de la Tara + Material Seco (gr)	162.8	146.6	143.2	141.2	146.5
Peso de Agua (gr)	8.3	10.5	13.8	17.0	21.1
Peso de Tara (gr)	37.0	37.0	35.7	36.6	37.5
Peso de Material Seco (gr)	125.8	109.6	107.5	104.6	109.0
Contenido de Humedad (%)	6.6	9.6	12.8	16.3	19.4



Gráfica V.4 Líneas de Tendencias para obtener $\delta_{máx.}$ y H_{opt}

5.1.4.2 Proctor Modificado

Muestra N°1

Prueba de Compactación Proctor Modificado

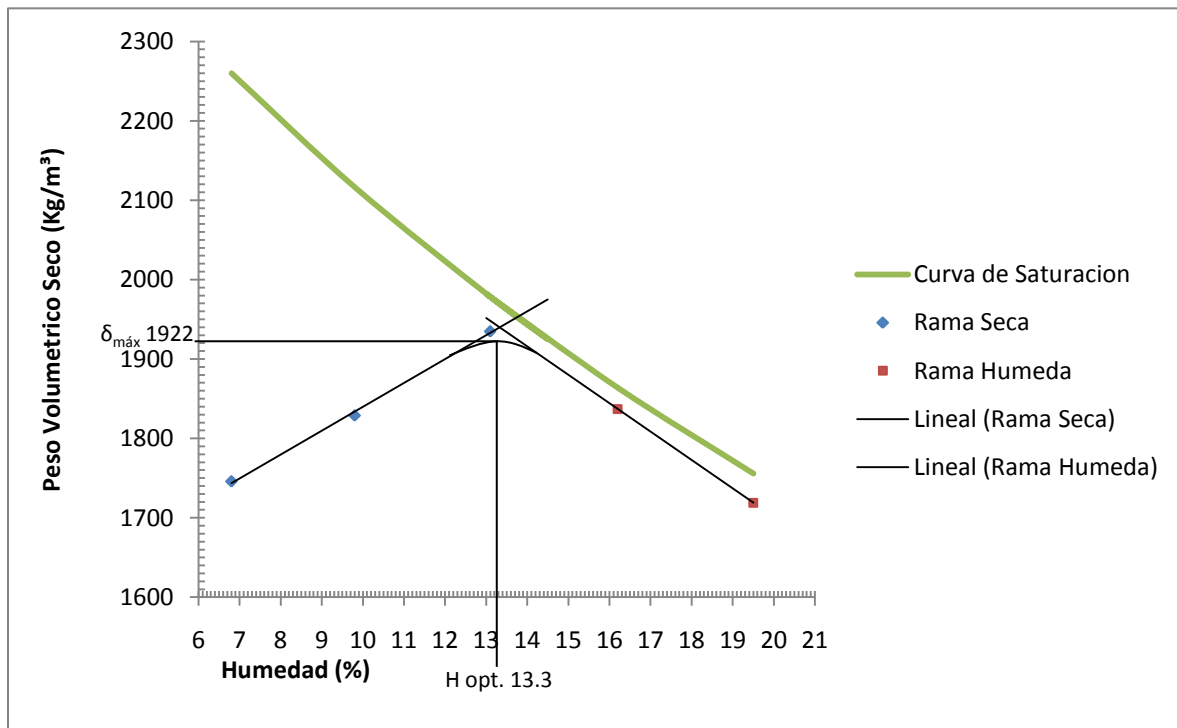
Molde N°: 5 Peso: 4.247 Kg Volumen: 0.94 Lts Diámetro: 10.16 cm
 Peso del Martillo: 11 Lbs Caída: 18" Golpes por capa: 25 N° de Capas: 5

Compactación de la Muestra

Peso del Material + Molde (Kg)	6.000	6.135	6.305	6.254	6.178
Peso del Molde (Kg)	4.247	4.247	4.247	4.247	4.247
Peso del Material en el Molde (Kg)	1.753	1.888	2.058	2.007	1.931
Peso Volumétrico Húmedo (Kg/m ³)	1,865.0	2,009.0	2,189.0	2,135.0	2,054.0
Peso Volumétrico Seco (Kg/m ³)	1,746.0	1,829.0	1,935.0	1,837.0	1,719.0

Contenido de Agua de la Muestra Compactada

Tara N°	839	109	17	117	116
Peso de la Tara + Material Húmedo (gr)	148.5	159.2	156.5	172.8	172.4
Peso de la Tara + Material Seco (gr)	141.3	149.2	142.7	153.6	150.1
Peso de Agua (gr)	7.2	10.0	13.8	19.2	22.3
Peso de Tara (gr)	35.7	47.5	37.5	35.2	35.7
Peso de Material Seco (gr)	105.6	101.7	105.2	118.4	114.4
Contenido de Humedad (%)	6.8	9.8	13.1	16.2	19.5



Gráfica V.5 Líneas de Tendencias para obtener $\delta_{m\acute{a}x}$. y H_{opt} .

Muestra N°2

Prueba de Compactación Proctor Modificado

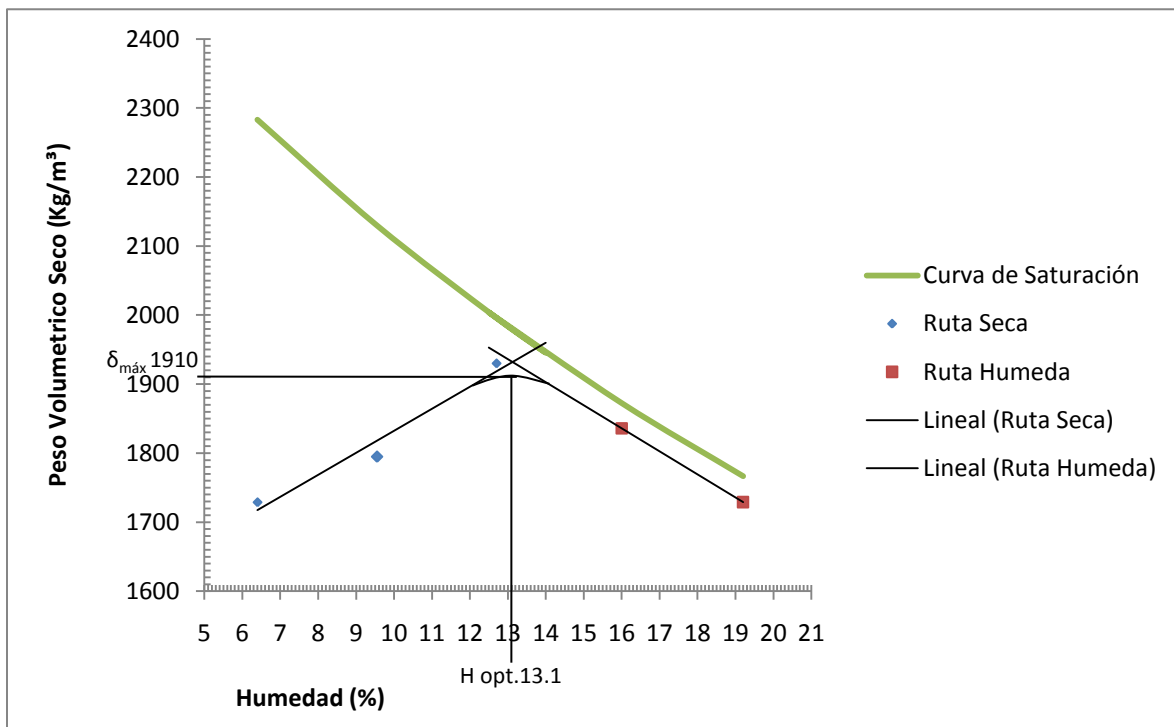
Molde N°: 5 Peso: 4.247 Kg Volumen: 0.94 Lts Diámetro: 10.16 cm
 Peso del Martillo: 11 Lbs Caída: 18" Golpes por capa: 25 N° de Capas: 5

Compactación de la Muestra

Peso del Material + Molde (Kg)	5.975	6.095	6.291	6.248	6.185
Peso del Molde (Kg)	4.247	4.247	4.247	4.247	4.247
Peso del Material en el Molde (Kg)	1.728	1.848	2.044	2.001	1.938
Peso Volumétrico Húmedo (Kg/m ³)	1,838.0	1,966.0	2,174.0	2,129.0	2,062.0
Peso Volumétrico Seco (Kg/m ³)	1,729.0	1,795.0	1,930.0	1,836.0	1,729.0

Contenido de Agua de la Muestra Compactada

Tara N°	28	21	124	136	5
Peso de la Tara + Material Húmedo (gr)	146.4	169.1	153.2	173.7	178.0
Peso de la Tara + Material Seco (gr)	139.7	158.5	140.2	154.7	155.2
Peso de Agua (gr)	6.7	10.6	13.0	19.0	22.8
Peso de Tara (gr)	34.2	47.5	37.5	35.7	36.7
Peso de Material Seco (gr)	105.5	111.0	102.7	119.0	118.5
Contenido de Humedad (%)	6.4	9.5	12.7	16.0	19.2



Gráfica V.6 Líneas de Tendencias para obtener $\delta_{máx.}$ y H_{opt}

Tabla V.8 Resultados Obtenidos de Pruebas de Compactación.

Proctor Estándar

Muestra N°	% H Optimo	Peso Volumétrico Seco Máximo (Kg/m³)
1	15.2	1,805.0
2	14.4	1,820.0
Promedio		
	14.8	1,813.0

Proctor Modificado

Muestra N°	% H Optimo	Peso Volumétrico Seco Máximo (Kg/m³)
1	13.3	1,922.0
2	13.1	1,910.0
Promedio		
	13.2	1,916.0

Tabla V.9 Propiedades Volumétricas y Gravimétricas del Material Selecto Compactado

Descripción	<i>n</i> (%)	<i>e</i>	<i>S_r</i> (%)
Proctor Estándar	32	0.47	84
Proctor Modificado	28	0.39	90

5.1.5 Relación de Carga California (CBR)

Prueba de CBR saturado (Estándar)

P.V.S. Máximo (Kg/m ³)	1,813.0	Humedad Óptima (%)	14.8
Peso del Martillo (Lbs)	5.5	Numero de Capas	3
Altura de Caída (Plg)	12	Sobrecarga (Lbs)	15
Altura del Espécimen (cm)	12.7	Volumen del Espécimen (Lts)	2.315

Grado de Compactación

Molde (Nº)	37	35	42
Nº de golpes por Capa	16	36	71
Peso del Material Húmedo + Molde (Kg)	11.348	11.635	11.910
Peso del Molde (Kg)	7.140	7.225	7.250
Peso del Material Húmedo (Kg)	4.208	4.410	4.660
P.V.H. (Kg/m ³)	1,818.0	1,905.0	2,013.0
Humedad (%)	12.2	12.1	12.5
P.V.S. (Kg/m ³)	1,620.0	1,699.0	1,789.0
% de compact. Reproducido	89	94	99

Resistencia a la Penetración

<i>Penetración Sometida (Plg)</i>	<i>Deformación</i>	<i>Carga (Kg)</i>	<i>Deformación</i>	<i>Carga (Kg)</i>	<i>Deformación</i>	<i>Carga (Kg)</i>
0,025	16	74.0	25	116.0	32	149.0
0,050	40	186.0	48	223.0	56	260.0
0,075	63	292.0	70	325.0	80	371.0
0,100 (1360,85 Kg)	85	395.0	100	464.0	115	534.0
0,150	115	534.0	145	673.0	195	905.0
0,200 (2041,28 Kg)	140	650.0	180	836.0	260	1,207.0
0,300	190	882.0	230	1,068.0	365	1,694.0
C.B.R. (Corregido)						

Hinchamiento

Lectura Final (mm)	0.92	0.91	0.90
Lectura Inicial (mm)	0.90	0.90	0.90
Diferencia de Lecturas (mm)	0.02	0.01	0.00
Hinchamiento (%)	0.02	0.01	0.00
Tiempo en Saturación (Hr)	96	96	96

Determinación de la Humedad (Estándar)

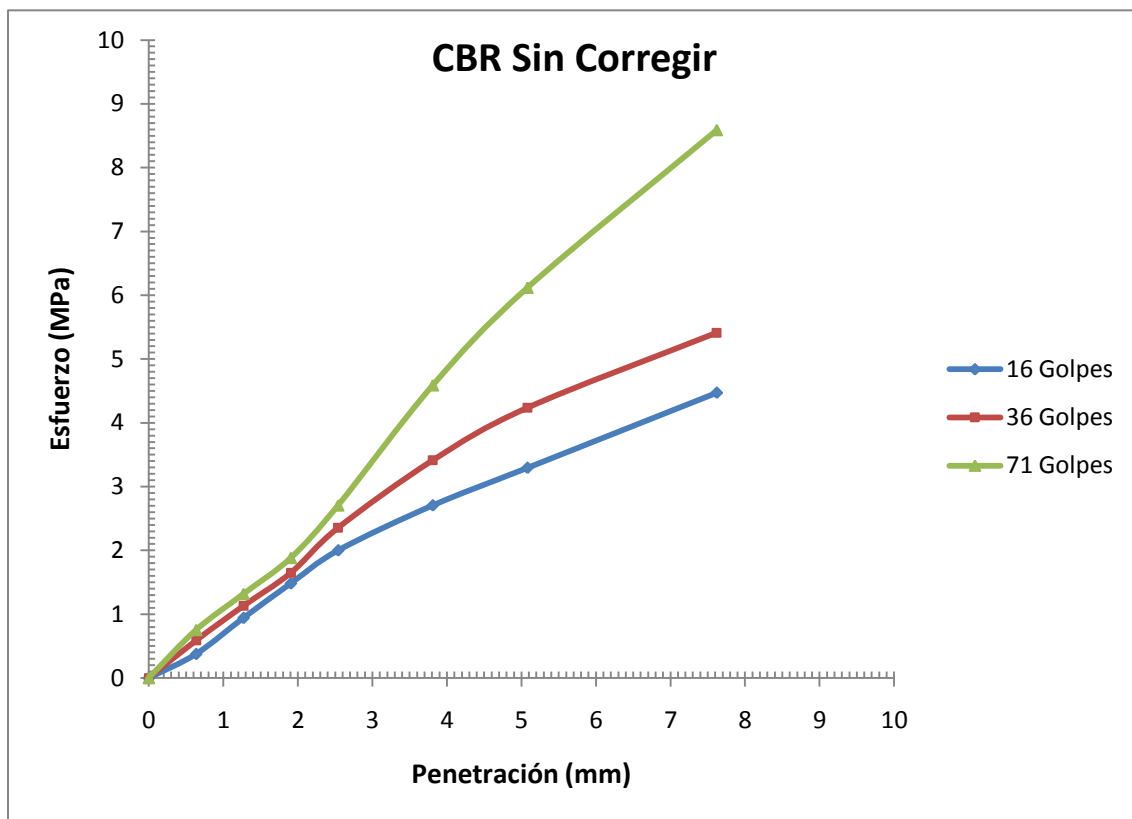
<i>Ensaye N°</i>	<i>1(16 golpes)</i>	
Recipiente N°	17	23
Peso Húmedo + Recipiente (gr)	147.6	153.5
Peso Seco + Recipiente (gr)	135.8	140.1
Agua (gr)	11.8	13.4
Peso Seco + Recipiente (gr)	135.8	140.1
Peso del Recipiente (gr)	37.5	31.8
Peso Seco - Recipiente (gr)	98.3	108.3
Contenido de Humedad (%)	12.0	12.4
Promedio de Humedades (%)	12.2	

<i>Ensaye N°</i>	<i>2(36 golpes)</i>	
Recipiente N°	136	330
Peso Húmedo + Recipiente (gr)	154.7	152.1
Peso Seco + Recipiente (gr)	141.6	139.8
Agua (gr)	13.1	12.3
Peso Seco + Recipiente (gr)	141.6	139.8
Peso del Recipiente (gr)	35.7	35.0
Peso Seco - Recipiente (gr)	105.9	104.8
Contenido de Humedad (%)	12.4	11.7
Promedio de Humedades (%)	12.1	

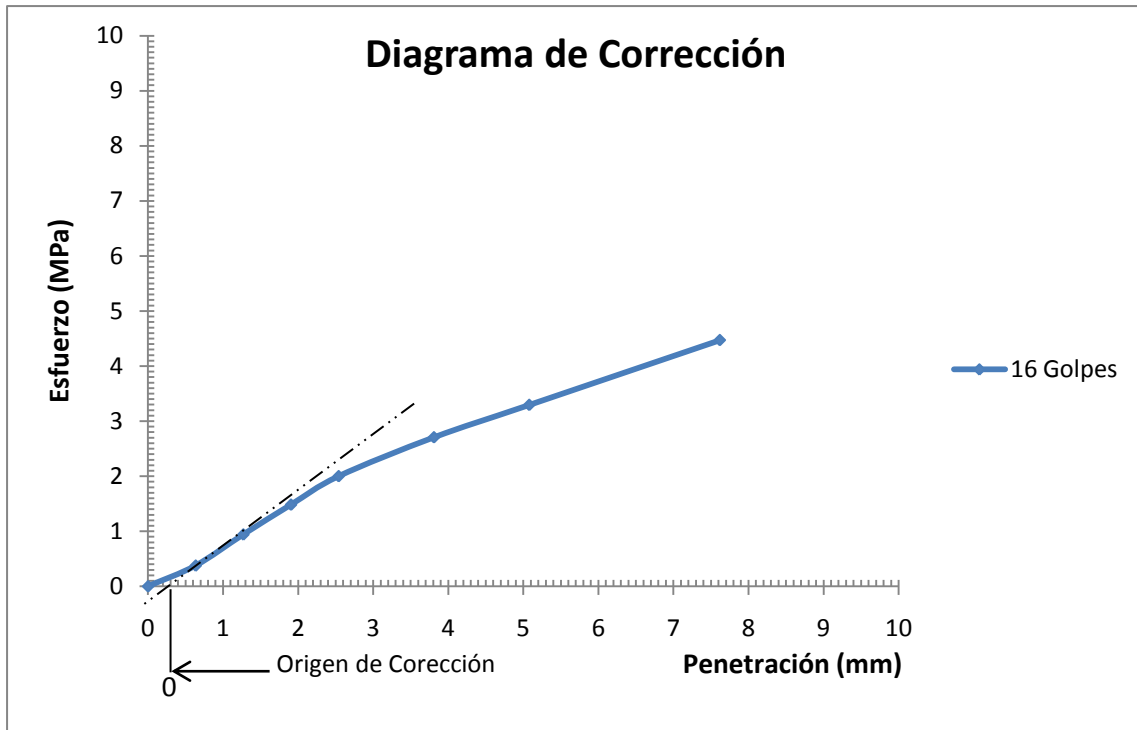
<i>Ensaye N°</i>	<i>3(71 golpes)</i>	
Recipiente N°	839	235
Peso Húmedo + Recipiente (gr)	184.7	183.8
Peso Seco + Recipiente (gr)	168.4	168.5
Agua (gr)	16.3	15.3
Peso Seco + Recipiente (gr)	168.4	168.5
Peso del Recipiente (gr)	35.7	48.0
Peso Seco - Recipiente (gr)	132.7	120.5
Contenido de Humedad (%)	12.3	12.7
Promedio de Humedades (%)	12.5	

Tabla V.10 Valores de Resistencia a la Penetración (Datos sin Corregir)

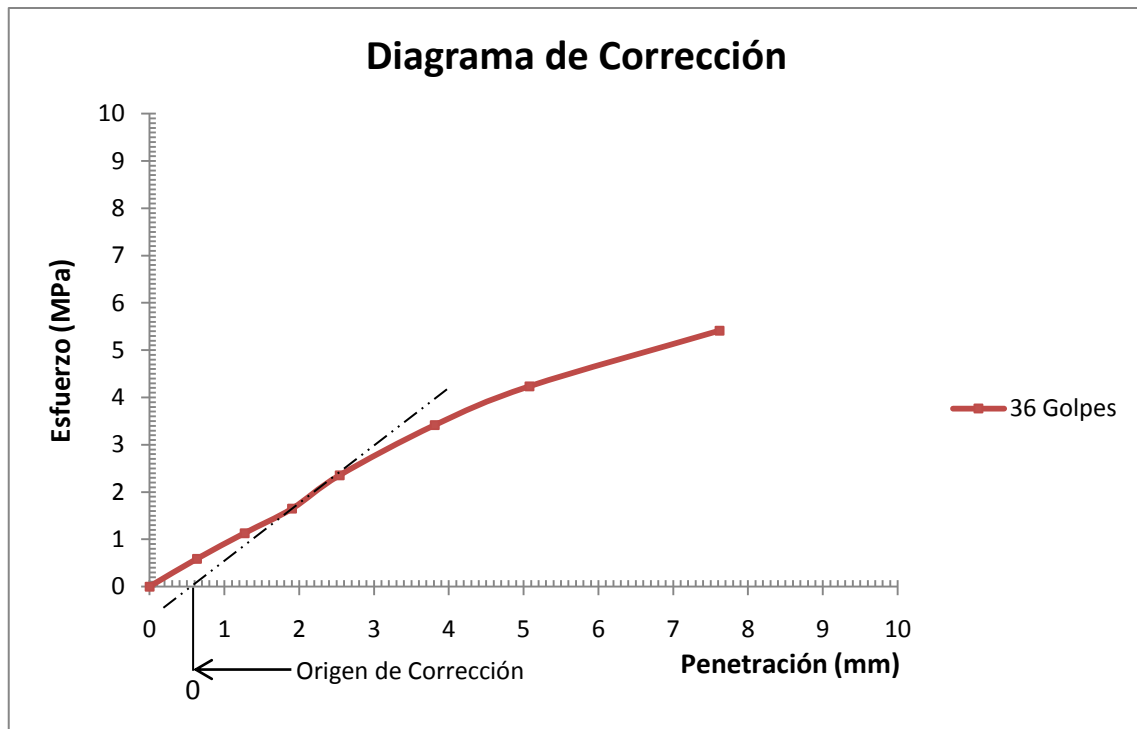
Penetración		16 Golpes (MPa)	36 Golpes (MPa)	71 Golpes (MPa)
Plg	mm			
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.025	0.6	0.4	0.6	0.8
0.05	1.3	0.9	1.1	1.3
0.075	1.9	1.5	1.6	1.9
0.1	2.5	2.0	2.4	2.7
0.15	3.8	2.7	3.4	4.6
0.2	5.1	3.3	4.2	6.1
0.3	7.6	4.5	5.4	8.6



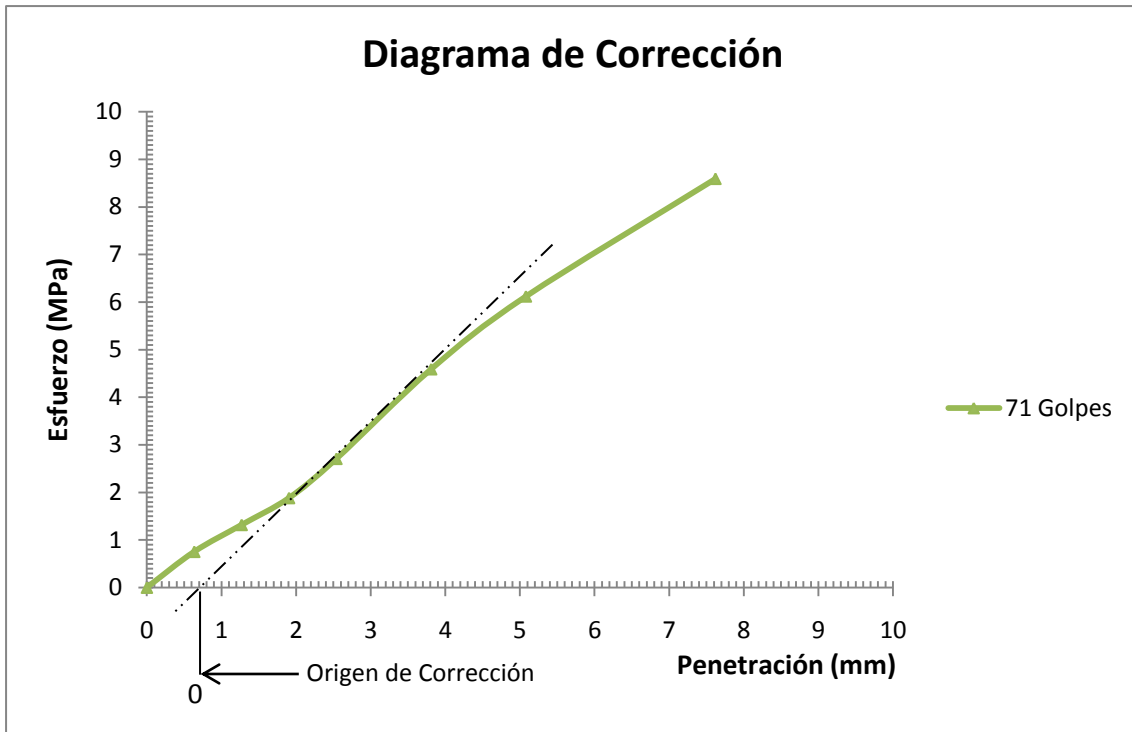
Gráfica V.7 Comportamiento de Esfuerzo Vs Deformación a distintos números de Golpes.



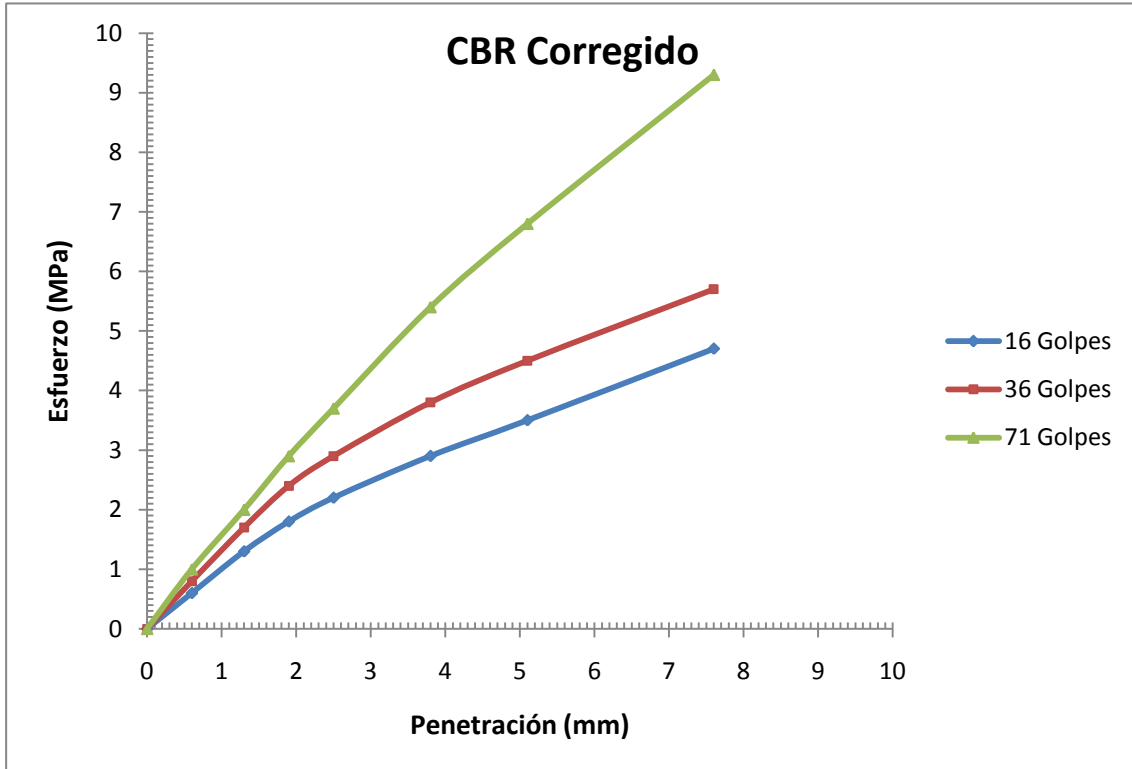
Gráfica V.8 Corrección del Comportamiento de Esfuerzo Vs Deformación a 16 Golpes.



Gráfica V.9 Corrección del Comportamiento de Esfuerzo Vs Deformación a 36 Golpes.



Gráfica V.10 Corrección del Comportamiento de Esfuerzo Vs Deformación a 71 Golpes.

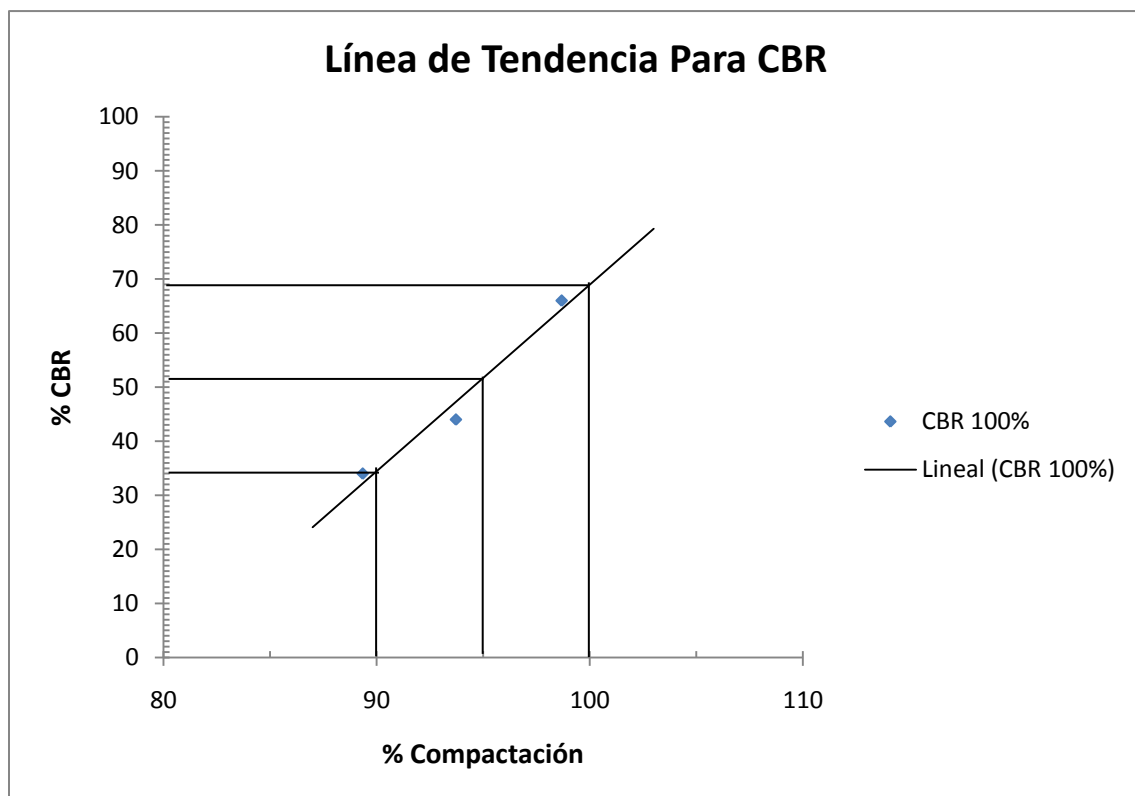


Gráfica V.11 Comportamiento de Esfuerzo Vs Deformación Corregido.

Tabla V.11 Resultados Prueba de CBR.
CBR Estándar

Resistencia a la Penetración (Datos Corregido)

Penetración		Esfuerzo		
Plg.	mm	16 Golpes (MPa)	36 Golpes (MPa)	71 Golpes (MPa)
0.0	0.0	0	0	0
0.025	0.6	0.6	0.8	1.0
0.05	1.3	1.3	1.7	2.0
0.075	1.9	1.8	2.4	2.9
0.1	2.5	2.2	2.9	3.7
0.15	3.8	2.9	3.8	5.4
0.2	5.1	3.5	4.5	6.8
0.3	7.6	4.7	5.7	9.3
% de CBR Obtenidos				
0.2	5.1	3.5	4.5	6.8
Carga patrón (MPa)		10.3	10.3	10.3
% de CBR		34	44	66
% de Compactación		89	94	99



Gráfica V.12 Obtención de Valores de CBR para distintos % de Compactación.

Prueba de CBR saturado (Modificado)

P.V.S. Máximo (Kg/m ³)	1,916.0	Humedad Óptima (%)	13.2
Peso del Martillo (Lbs.)	11.0	Numero de Capas	5
Altura de Caída (Plg)	18	Sobrecarga (Lbs.)	10
Altura del Espécimen (cm)	12.7	Volumen del Espécimen (Lts)	2.315

Grado de Compactación

Molde (Nº)	17	0-6	30
Nº de golpes por Capa	16	36	71
Peso del Material Húmedo + Molde (Kg)	11.598	11.825	12.050
Peso del Molde (Kg)	7.085	7.110	7.150
Peso del Material Húmedo (Kg)	4.513	4.715	4.900
P.V.H. (Kg/m ³)	1,949.0	2,037.0	2,117.0
Humedad (%)	12.2	11.9	12.1
P.V.S. (Kg/m ³)	1,737.0	1,820.0	1,888.0
% de compact. Reproducido	91	95	99

Resistencia a la Penetración

<i>Penetración Sometida (Plg)</i>	<i>Deformación</i>	<i>Carga (Kg)</i>	<i>Deformación</i>	<i>Carga (Kg)</i>	<i>Deformación</i>	<i>Carga (Kg)</i>
0,025	29	135.0	80	371.0	100	464.0
0,050	43	200.0	135	627.0	170	789.0
0,075	75	348.0	180	836.0	230	1,068.0
0,100 (1360,85 Kg)	125	580.0	230	1,068.0	300	1,393.0
0,150	185	859.0	315	1,462.0	420	1,950.0
0,200 (2041,28 Kg)	225	1,044.0	360	1,671.0	520	2,414.0
0,300	310	1,439.0	490	2,274.0	690	3,203.0
C.B.R. (Corregido)						

Hinchamiento

Lectura Final (mm)	0.91	0.90	0.90
Lectura Inicial (mm)	0.90	0.90	0.90
Diferencia de Lecturas (mm)	0.01	0.00	0.00
Hinchamiento (%)	0.01	0.00	0.00
Tiempo en Saturación (Hr)	96	96	96

Determinación de la Humedad (Modificado)

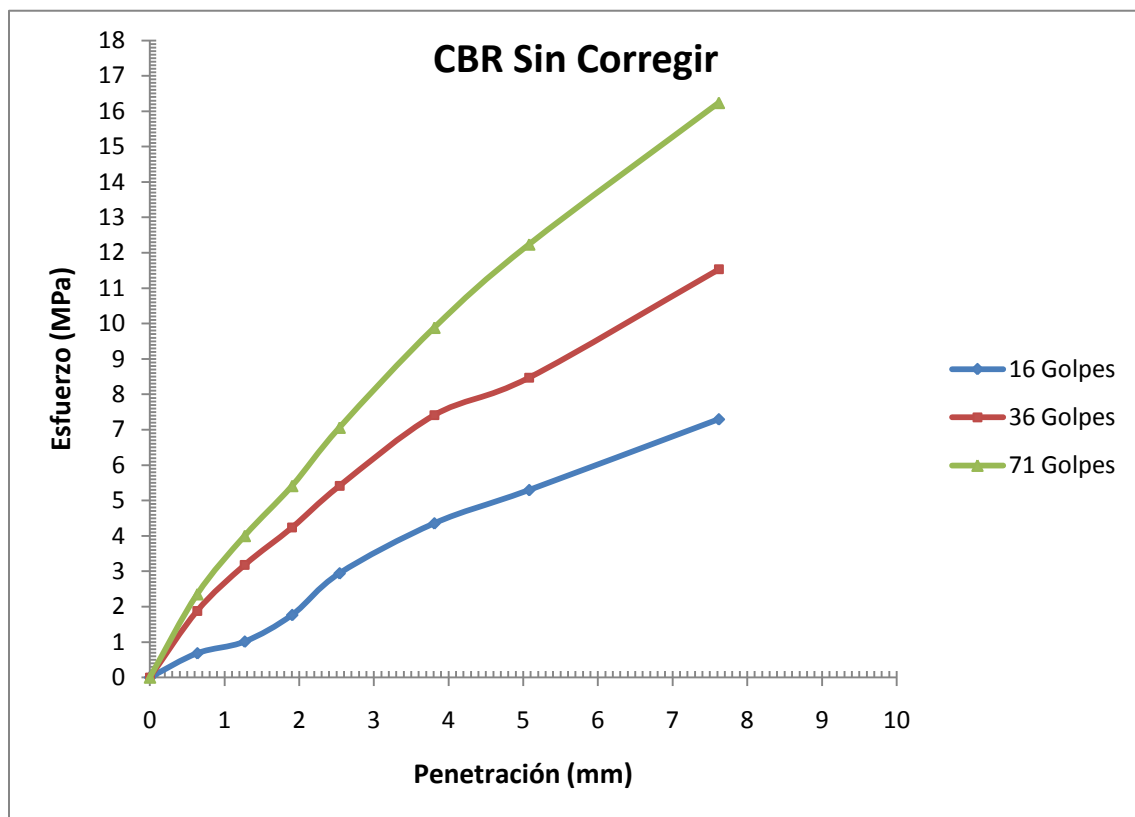
<i>Ensaye N°</i>	<i>1(16golpes)</i>	
Recipiente N°	A-31	C-18
Peso Húmedo + Recipiente (gr)	185.1	161.1
Peso Seco + Recipiente (gr)	170.8	147.9
Agua (gr)	14.3	13.2
Peso Seco + Recipiente (gr)	170.8	147.9
Peso del Recipiente (gr)	50.6	41.5
Peso Seco - Recipiente (gr)	120.2	106.4
Contenido de Humedad (%)	11.9	12.4
Promedio de Humedades (%)	12.2	

<i>Ensaye N°</i>	<i>2(36 golpes)</i>	
Recipiente N°	146	176
Peso Húmedo + Recipiente (gr)	172.6	171.2
Peso Seco + Recipiente (gr)	158.5	157.8
Agua (gr)	14.1	13.4
Peso Seco + Recipiente (gr)	158.5	157.8
Peso del Recipiente (gr)	37.0	47.8
Peso Seco - Recipiente (gr)	121.5	110.0
Contenido de Humedad (%)	11.6	12.2
Promedio de Humedades (%)	11.9	

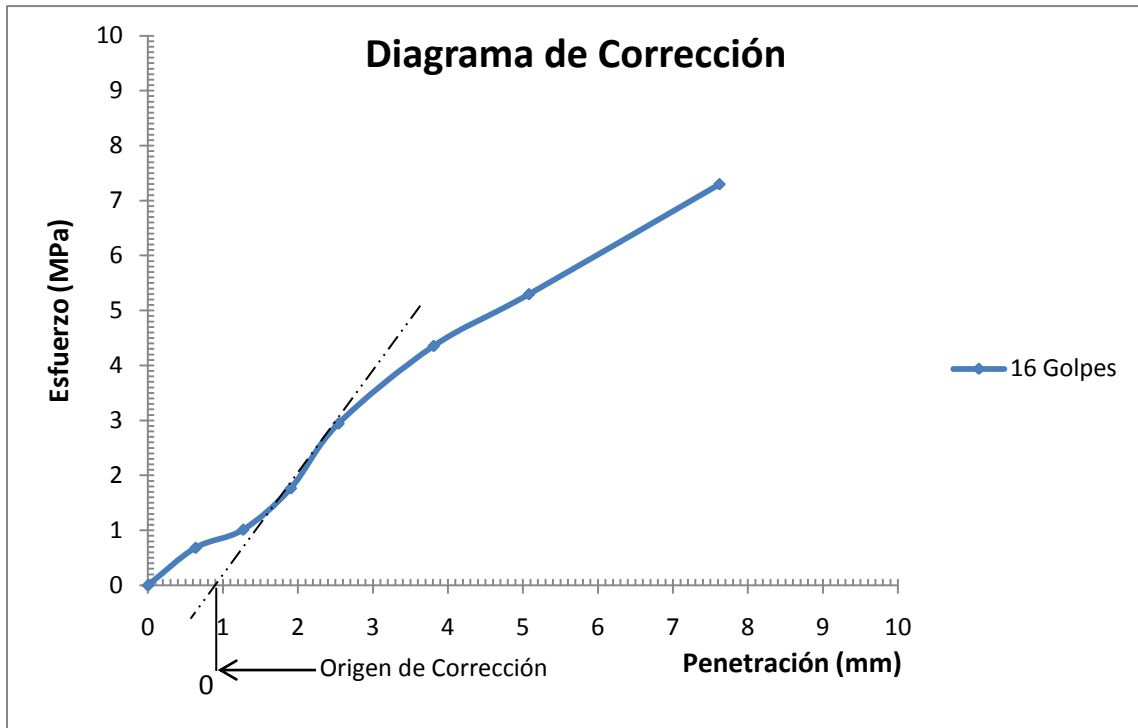
<i>Ensaye N°</i>	<i>3(71 golpes)</i>	
Recipiente N°	B-33	153
Peso Húmedo + Recipiente (gr)	175.2	143.3
Peso Seco + Recipiente (gr)	161.5	131.5
Agua (gr)	13.7	11.8
Peso Seco + Recipiente (gr)	161.5	131.5
Peso del Recipiente (gr)	46.8	35.0
Peso Seco - Recipiente (gr)	114.7	96.5
Contenido de Humedad (%)	11.9	12.2
Promedio de Humedades (%)	12.1	

Tabla V.12 Valores de Resistencia a la Penetración (Datos sin Corregir)

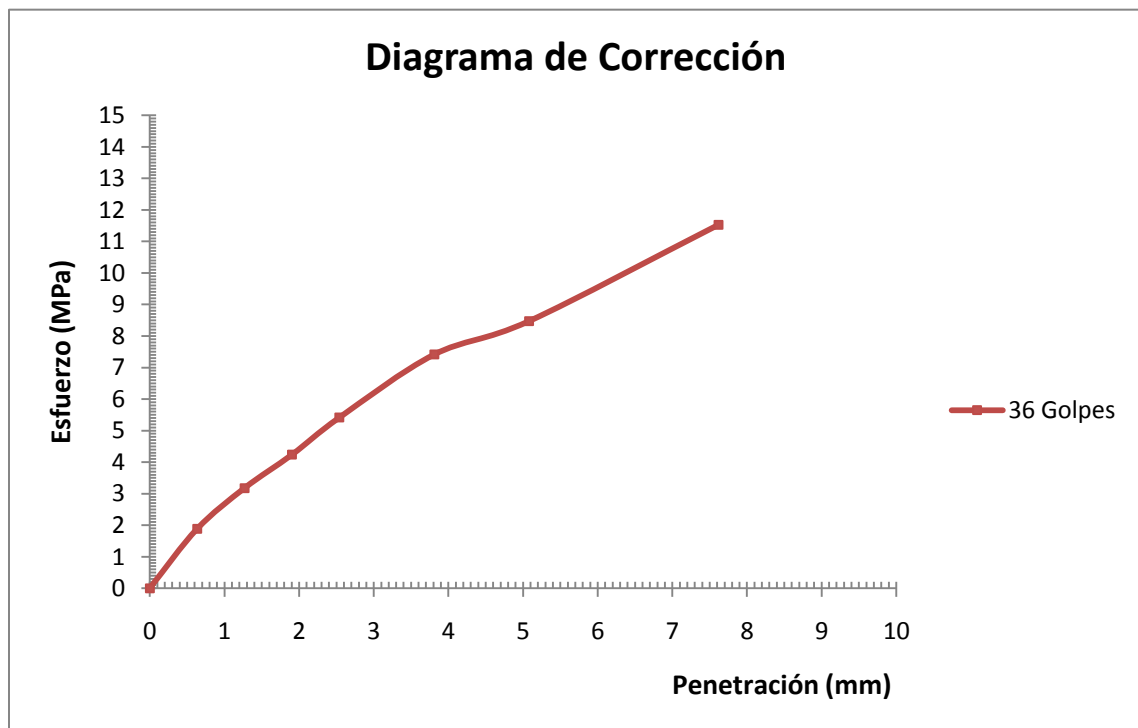
Penetración		Esfuerzo		
Plg	mm	16 Golpes (MPa)	36 Golpes (MPa)	71 Golpes (MPa)
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.025	0.6	0.7	1.9	2.4
0.05	1.3	1.0	3.2	4.0
0.075	1.9	1.8	4.2	5.4
0.1	2.5	2.9	5.4	7.1
0.15	3.8	4.4	7.4	9.9
0.2	5.1	5.3	8.5	12.2
0.3	7.6	7.3	11.5	16.2



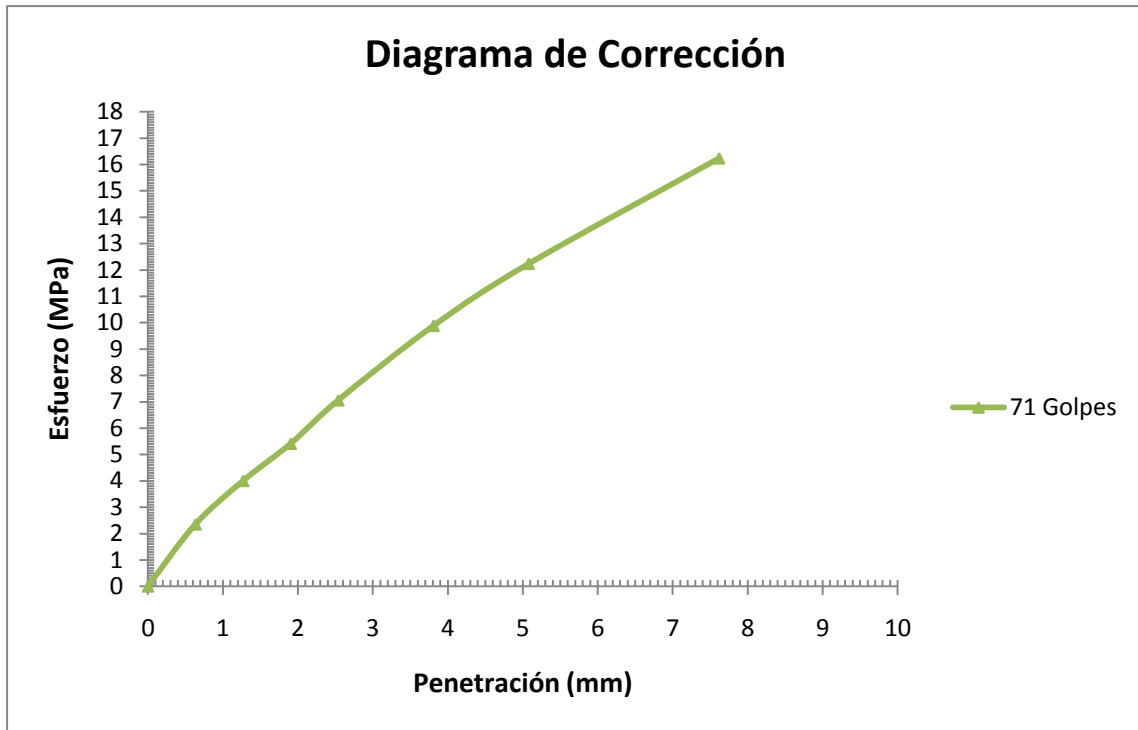
Gráfica V.13 Comportamiento de Esfuerzo Vs Deformación a distintos números de Golpes.



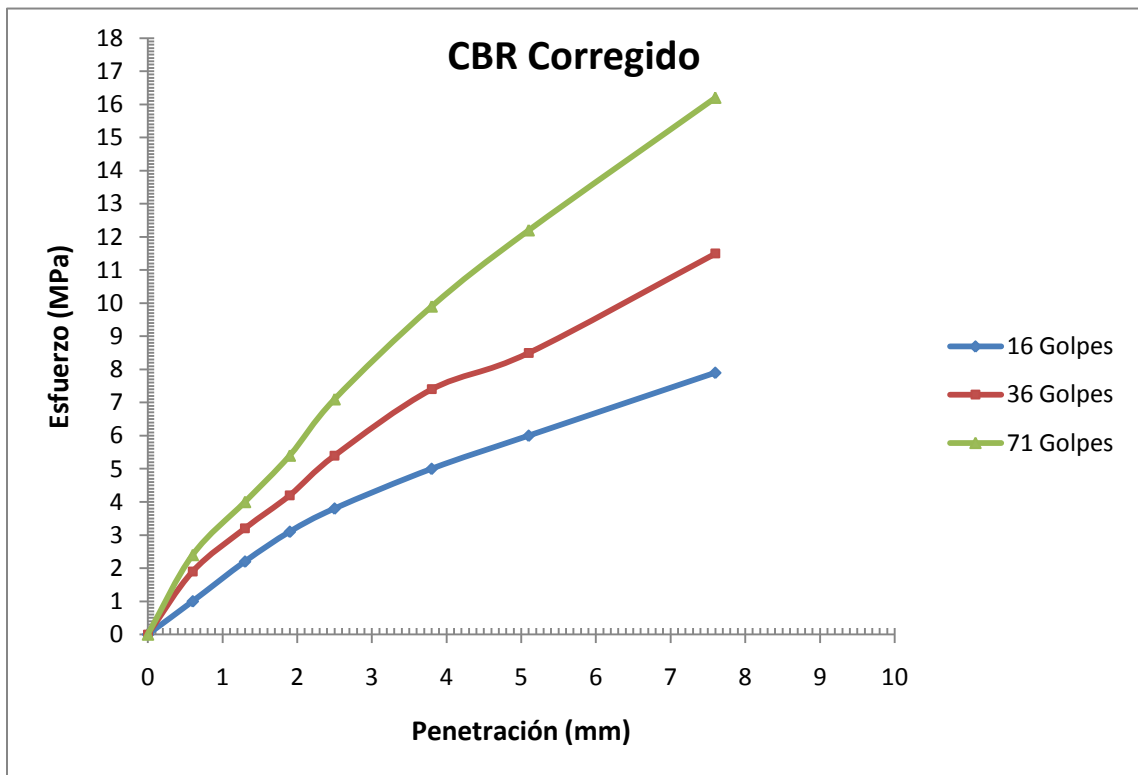
Gráfica V.14 Corrección del Comportamiento de Esfuerzo Vs Deformación a 16 Golpes.



Gráfica V.15 Corrección del Comportamiento de Esfuerzo Vs Deformación a 36 Golpes.



Gráfica V.16 Corrección del Comportamiento de Esfuerzo Vs Deformación a 71 Golpes.

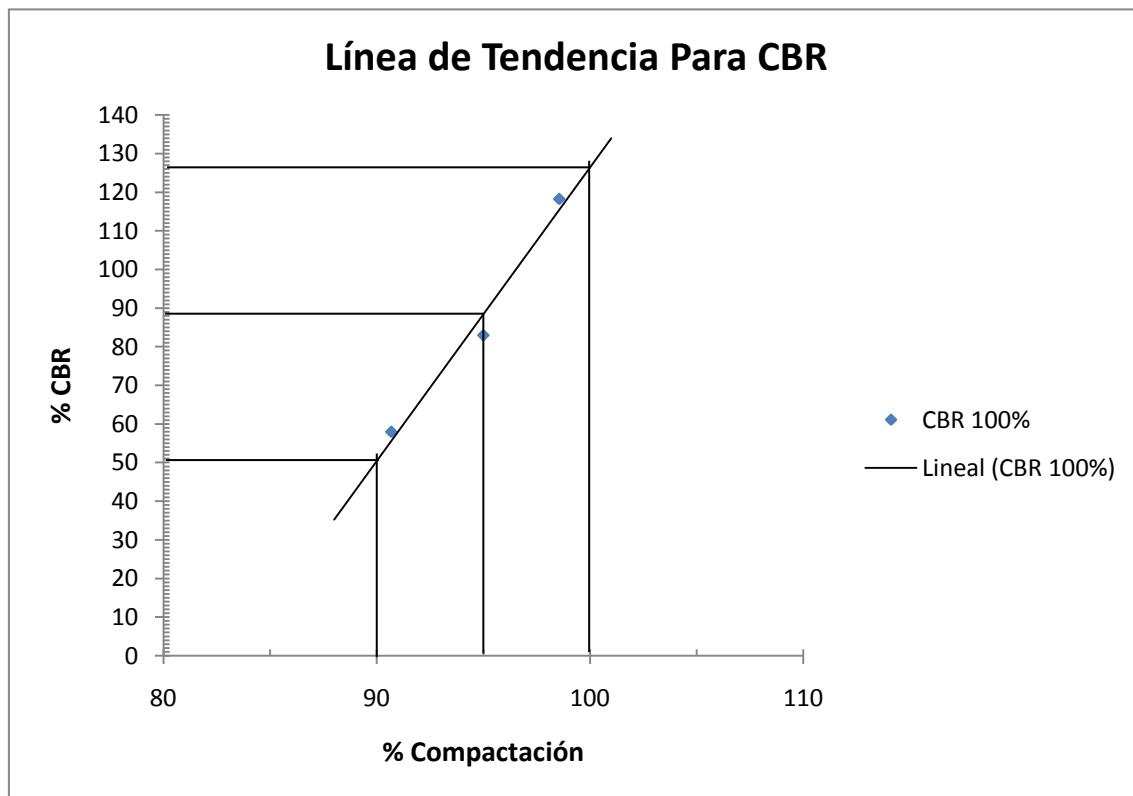


Gráfica V.17 Comportamiento de Esfuerzo Vs Deformación Corregido.

Tabla V.13 Resultados Prueba de CBR.
CBR Modificado

Resistencia a la Penetración (Datos Corregido)

Penetración		Esfuerzo		
Plg.	mm	16 Golpes (MPa)	36 Golpes (MPa)	71 Golpes (MPa)
0.0	0.0	0	0	0
0.025	0.6	1.0	1.9	2.4
0.05	1.3	2.2	3.2	4.0
0.075	1.9	3.1	4.2	5.4
0.1	2.5	3.8	5.4	7.1
0.15	3.8	5.0	7.4	9.9
0.2	5.1	6.0	8.5	12.2
0.3	7.6	7.9	11.5	16.2
% de CBR Obtenidos				
0.2	5.1	6.0	8.5	12.2
Carga patrón (MPa)		10.3	10.3	10.3
% de CBR		58	83	118
% de Compactación		91	95	99



Gráfica V.18 Obtención de Valores de CBR para distintos % de Compactación.

Tabla V.14 Valores de CBR para los diferentes Porcentajes de Compactación.**Banco “La Veta” Material Gris Oscuro**

CBR Estándar	
% de Compactación	% de CBR
90	34
95	52
100	69
CBR Modificado	
% de Compactación	% de CBR
90	51
95	89
100	126

Tabla V.15 Informe de Ensayes de Suelos
Banco “La Veta” Material Gris Oscuro

Granulometría	
Tamaño Máximo	3/8”
Relación de Finos	0.31
Límites de Atterberg	
Límite Líquido	-
Índice de Plasticidad	NP
Clasificación	
Clasificación H.R.B	A-1-b(0)
Clasificación S.U.C.S	SM-SP
Pruebas de Compactación	
Proctor Estándar	
Peso Volumétrico Seco Máximo (Kg/m ³)	1,813.0
Humedad Óptima (%)	14.8
Enjuntamiento	0.88
Porosidad (%)	32
Relación de Vacíos	0.47
Grado de Saturación (%)	84
Proctor Modificado	
Peso Volumétrico Seco Máximo (Kg/m ³)	1,916.0
Humedad Óptima (%)	13.2
Enjuntamiento	0.83
Porosidad (%)	28
Relación de Vacíos	0.39
Grado de Saturación (%)	90
C.B.R. Estándar	
% de Compactación	% de CBR
90	34
95	52
100	69
C.B.R. Modificado	
% de Compactación	% de CBR
90	51
95	89
100	126
Pesos Volumétricos	
Peso Volumétrico Seco Suelto (Kg/m ³)	1,490.0
Peso Volumétrico Seco Varillado (Kg/m ³)	1,587.0
Abundamiento	1.07
Gravedad Específica	
2.67	

Tabla V.16 Análisis de Resultados para Uso Ingenieril conforme a Normativas y Especificaciones

Banco	Normativa de referencia	Parámetros		Resultados Obtenidos del Banco		Observación
Banco la Veta (Selecto Gris Oscuro)	Clasificación AASHTO	Explanada y Subrasante	Tamiz % Q.P. No. 40 = 50 máx. No.200 = 25 máx.	Tamiz % Q.P. No. 40 = 28 No.200 = 9	Se clasifica como A-1-b(0), presentando una calidad excelente para este uso en particular y es altamente estable bajo condiciones críticas, debido a que su índice de grupo pone de manifiesto la ausencia de material arcilloso.	
	NIC - 2000	Sub-base	Tamiz % Q.P. 1 ½ " = 100 No. 4 = 35 - 65 No. 200 = 0 - 10	Tamiz % Q.P. 1 ½ " = 100 No. 4 = 82 No. 200 = 9	El material no cumple con la normativa granulométrica para dicho uso, sin embargo, satisface las normativas bajo la perspectiva de plasticidad y resistencia mecánica. Alcanzando valores de CBR > 50 % para % de compactación ≥ al 95 % estándar y ≥ 90 % modificado.	
			L.L. = 25 máx. I.P. = 6 máx. C.B.R. = 50 min.	L.L. = 0 I.P. = 0 C.B.R. = 51 - 126		
	Principios de Diseño de Pavimentos, Jhon Wiley & Sons, 1959	Sub-base	C.B.R. = 20 - 50 SUCS = GM, GC, GW, GP, SM, SP. AASHTO = A-1-b, A-2-5, A-3, A-2-6	C.B.R. = 34 - 51 SUCS = SM - SP AASHTO = A-1-b(0)	Presenta una buena calidad, cumpliendo la normativa de clasificación y resistencia mecánica, manteniendo un % de compactación ≥ 90 % estándar e = 90 % modificado.	
		Base	C.B.R. = > 50 SUCS = GM, GC, GW, GP, SM, SP. AASHTO = A-1-a, A-1-b, A-2-5, A-3, A-2-4, A-2-6	C.B.R. = 51 - 126 SUCS = SM - SP AASHTO = A-1-b(0)	Presenta una buena calidad, cumpliendo la normativa de clasificación y resistencia mecánica, manteniendo un % de compactación ≥ 95 % estándar y ≥ 90 % modificado.	
	ASTM D-1241	Base	Ver tabla II.4 Pag.36	Tamiz% Q.P 1 " = 98 3/8 " = 91 No. 4 = 82	Tamiz% Q.P No. 10 = 65 No. 40 = 28 No. 200 = 9	Según rangos granulométricos este material no cumple, sin embargo, bajo la perspectiva de plasticidad y resistencia mecánica se cumple con la normativa, manteniendo un % de compactación ≥ 95 % modificado, para alcanzar valores de CBR > 80 %.
L.L. = 0 I.P. = 0 C.B.R. = 89 - 126 PVSV = 1587 Kg/m3						
Laboratorios IMS	Revestimiento De Caminos	Tamiz % Q.P. 2" = 100 No. 4 = 40 - 60 No. 40 = 20 - 35 No. 200 = 8 - 15	Tamiz % Q.P. 2" = 100 No. 4 = 82 No. 40 = 28 No. 200 = 9	Según rangos granulométricos y criterios de plasticidad este no puede ser utilizado para revestimientos, sin embargo cumple bajo perspectivas de resistencia mecánica manteniendo un porcentaje mínimo de compactación de 90 % estándar.		
L.L. = 40 máx. I.P. = 4 - 10 máx. C.B.R. = 30 min.		L.L. = 0 I.P. = 0 C.B.R. = > 34				

SELECTO GRIS CLARO



5.2.1 Análisis Granulométrico y Pesos Volumétricos

Muestra N°1

Determinación de la Composición Granulométrica y Pesos Volumétricos del Material

Seco Suelto

Composición Granulométrica del material Retenido
el malla N° 4

Malla	PRP(gr)	% RP	% RA	% QP
¾"	-	-	-	100
⅜"	75.0	1	1	99
N° 4	90.0	2	3	97
Pasa N° 4	4,712.0	97	100	-
Suma	4,877.0	100	-	-

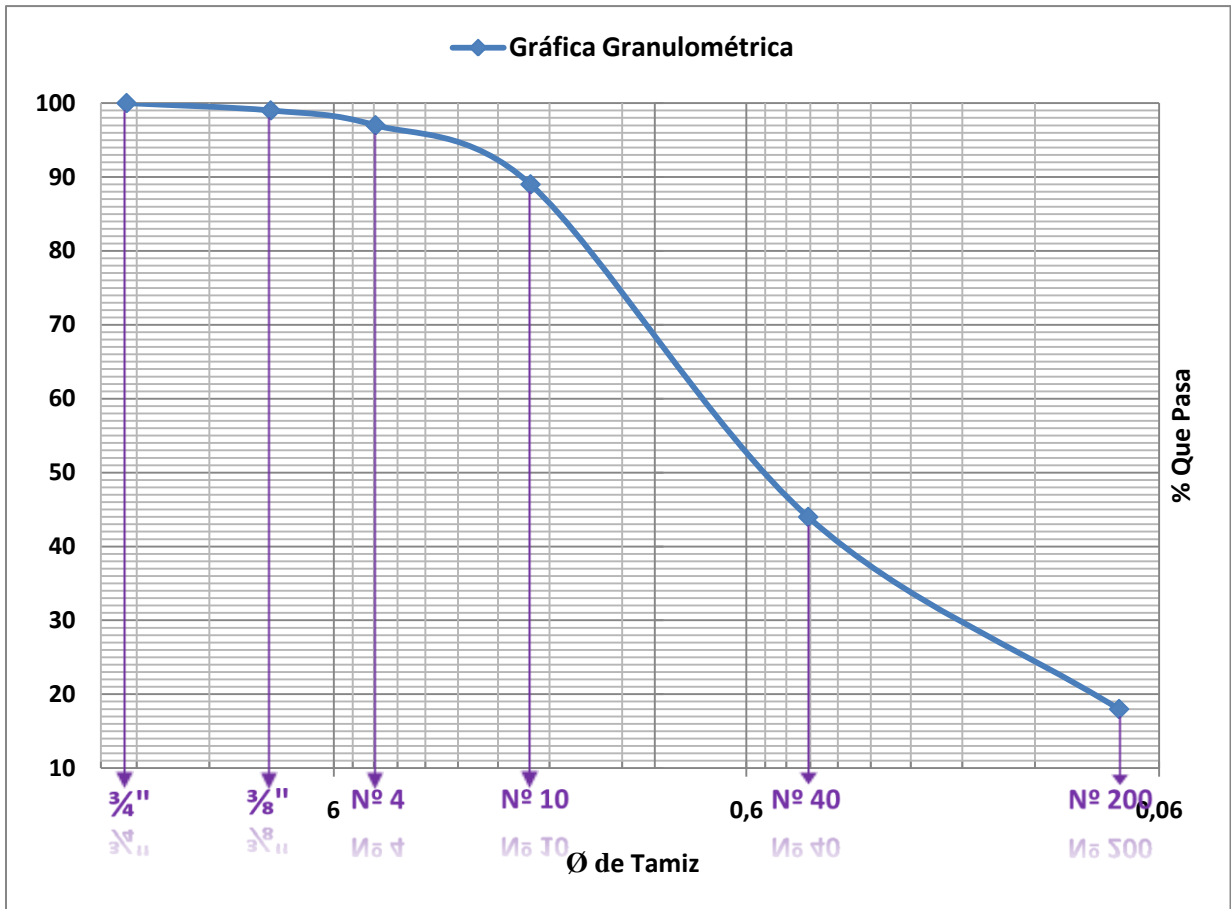
Determinación del Pesos	
PSS (gr)	4,443.0
PSC (gr)	4,859.0
Volumen (cm ³)	2,850.0
Peso Volumétrico(Kg/m ³)	
PVSS	1,559.0
PVSV	1,705.0

Composición Granulométrica del material que pasa la malla N° 4 (Lavado)

Malla	Peso Retenido Parcial (gr)		% Retenido Parcial		% RP (Promedio)	% RA	% QP
N° 10	14.5	13.5	8	8	8	11	89
N° 40	82.7	79.8	45	46	45	56	44
N° 200	45.1	46.6	25	27	26	82	18
Pasa N° 200	35.9	30.3	20	17	18	100	-
Suma	178.2	170.2	97	97	97	-	-

Material Lavado (gr)

Prueba No. 1	Peso Seco	178.7	Prueba No. 2	Peso Seco	171.0
	Peso Seco Lavado	142.8		Peso Seco Lavado	140.7
	Pasa N° 200	35.9		Pasa N° 200	30.3



Gráfica V.19 Representación Granulométrica de los porcentajes que pasan por los tamices con aberturas de diámetros variados, para la Muestra 1.

Tabla V.17 Resultados Obtenidos de Ensaye Granulométrico.

Tamaño Máximo	Nº 10
Relación de Finos	0.41
Peso Volumétrico Seco Suelto (PVSS)	1,559.0 Kg/m ³
Peso Volumétrico Seco Varillado (PVSV)	1,705.0 Kg/m ³

Muestra N°2

Determinación de la Composición Granulométrica y Pesos Volumétricos del Material Seco Suelto

Composición Granulométrica del material Retenido el malla N° 4

Malla	PRP(gr)	% RP	% RA	% QP
¾"	-	-	-	100
⅜"	56.0	1	1	99
N° 4	70.0	2	3	97
Pasa N° 4	4,723.0	97	100	-
Suma	4,849.0	100	-	-

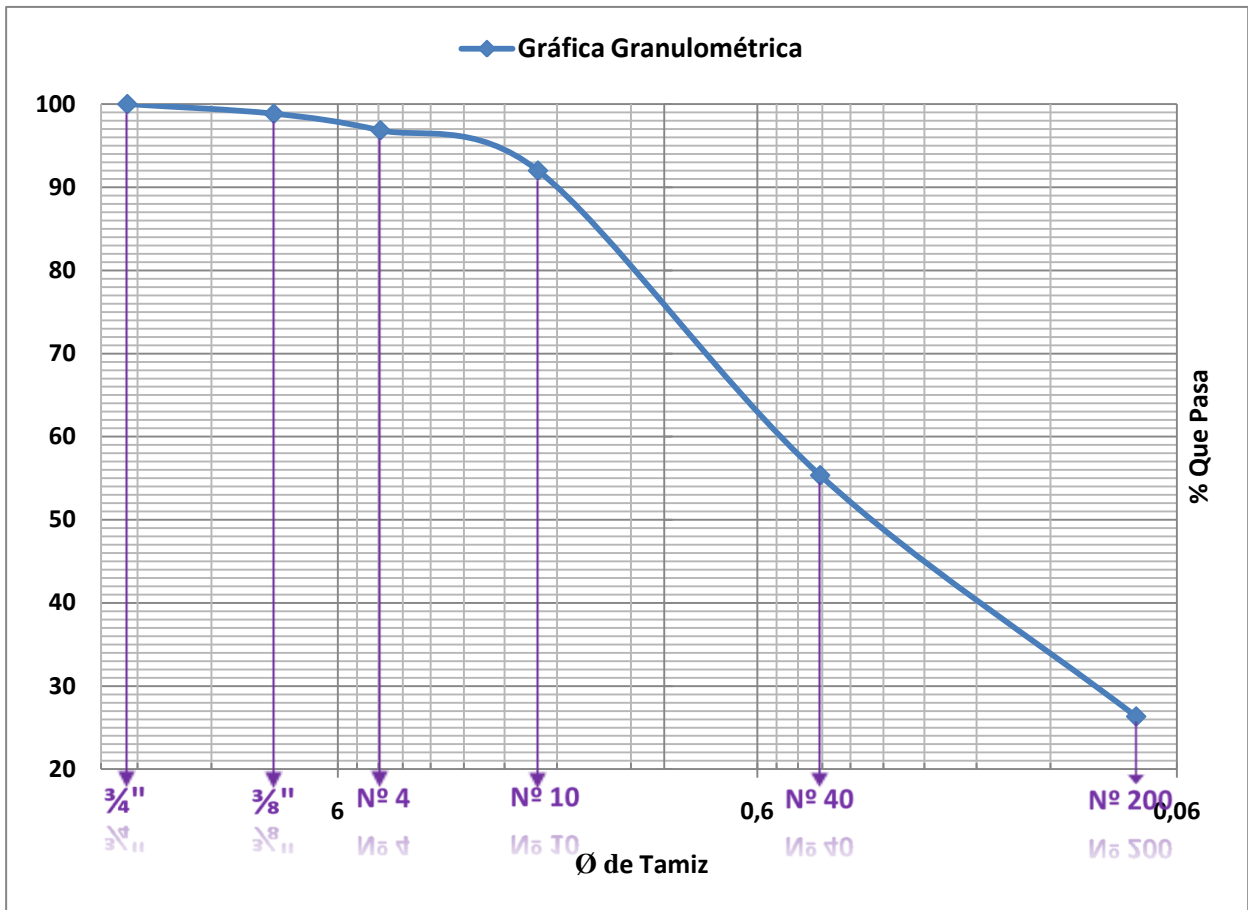
Determinación del Pesos	
PSS (gr)	4,522.0
PSC (gr)	4,848.0
Volumen (cm ³)	2,850.0
Peso Volumétrico(Kg/m ³)	
PVSS	1,587.0
PVSV	1,701.0

Composición Granulométrica del material que pasa la malla N° 4 (Lavado)

Malla	Peso Retenido Parcial (gr)		% Retenido Parcial		% RP (Promedio)	% RA	% QP
N° 10	6.1	8.8	4	5	5	8	92
N° 40	54.3	57.0	39	34	37	45	55
N° 200	40.1	48.5	29	29	29	74	26
Pasa N° 200	34.9	47.0	25	28	26	100	-
Suma	135.4	161.3	97	97	97	-	-

Material Lavado (gr)

Prueba No. 1	Peso Seco	136.1	Prueba No. 2	Peso Seco	159.2
	Peso Seco Lavado	101.2		Peso Seco Lavado	112.2
	Pasa N° 200	34.9		Pasa N° 200	47.0



Gráfica V.20 Representación Granulométrica de los porcentajes que pasan por los tamices con aberturas de diámetros variados, para la Muestra 2.

Tabla V.18 Resultados Obtenidos de Ensaye Granulométrico.

Tamaño Máximo	Nº 10
Relación de Finos	0.47
Peso Volumétrico Seco Suelto (PVSS)	1,587.0 Kg/m ³
Peso Volumétrico Seco Varillado (PVSV)	1,701.0 Kg/m ³

Tabla V.19 Resultados Finales de los Análisis Granulométricos y Pesos Volumétricos.

Muestra N°	Tamaño Máximo	Relación de Finos	PVSS (Kg/m³)	PVSV (Kg/m³)
1	N° 10	0.41	1,559.0	1,705.0
2	N° 10	0.47	1,587.0	1,701.0
Promedio	N° 10	0.44	1,573.0	1,703.0

5.2.2 Límites de Atterberg

Tabla V.20 Determinación de Límites de Consistencia.

Muestra N°	
1	No Plástico
2	

5.2.3 Gravedad Específica

Muestra N°1

Ensaye de Densidad Referida al Peso Seco (Gravedad Específica)

Determinación N°	1	2
Frasco N°	25	25
Peso del Frasco Lleno de Agua (P), (g)	673.2	673.2
Peso del Material Saturado y Superficialmente Seco (As), (g)	50.0	50.0
Total (P + As), (g)	723.2	723.2
Peso del Frasco con Agua y Material (W), (g)	704.5	704.4
Volumen Desalojado{(P + As) - W}, (g)	18.7	18.8
Densidad	2.67	2.66
Densidad Promedio	2.67	

Muestra N°2

Ensaye de Densidad Referida al Peso Seco (Gravedad Específica)

Determinación N°	1	2
Frasco N°	25	25
Peso del Frasco Lleno de Agua (P), (g)	673.2	673.2
Peso del Material Saturado y Superficialmente Seco (As), (g)	50.0	50.0
Total (P + As), (g)	723.2	723.2
Peso del Frasco con Agua y Material (W), (g)	704.5	704.6
Volumen Desalojado{(P + As) - W}, (g)	18.7	18.6
Densidad	2.67	2.69
Densidad Promedio	2.68	

Tabla V.21 Resultados Obtenidos de Ensayes de Gravedad Específica.

Muestra N°	Gravedad Específica
1	2.67
2	2.68
Promedio	2.68

5.2.4 Ensayes de Compactación

5.2.4.1 Proctor Estándar

Muestra N°1

Prueba de Compactación Proctor Estándar

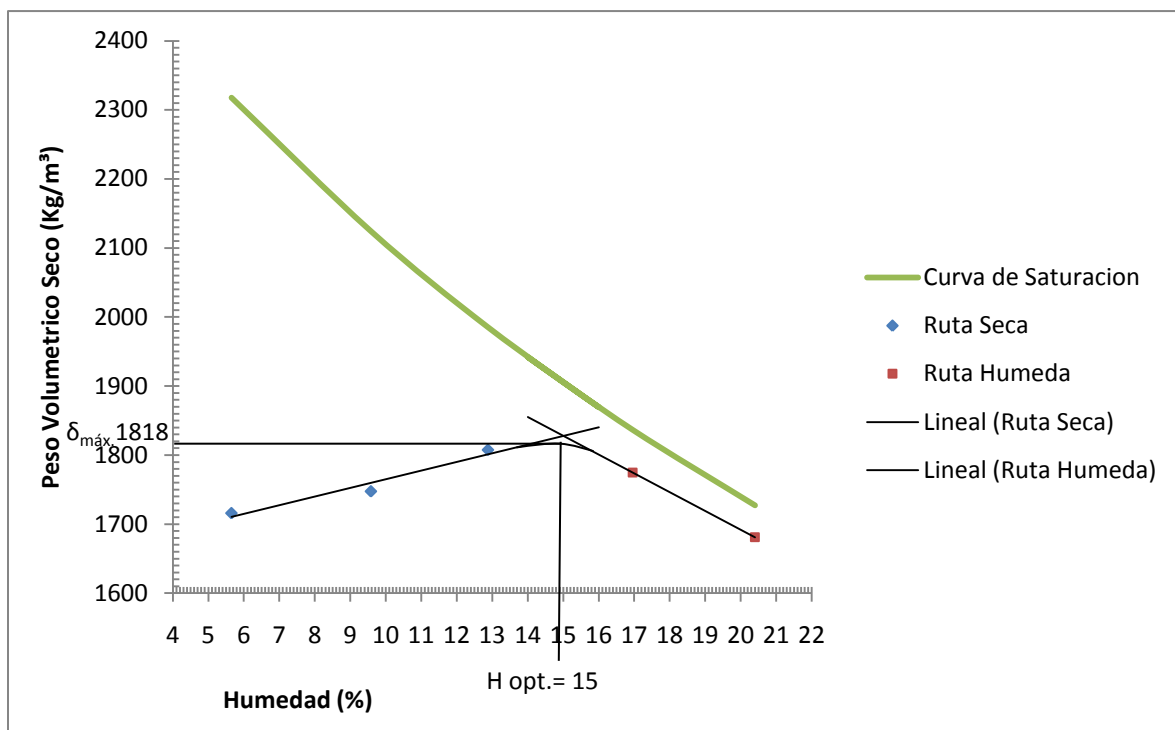
Molde N°: 5 Peso: 4.247 Kg. Volumen : 0.94 Lts Diámetro: 10.16 cm
 Peso del Martillo: 5.5 Lbs Caída: 12" Golpes por capa: 25 N° de Capas: 3

Compactación de la Muestra

Peso del Material + Molde (Kg)	5.951	6.047	6.165	6.198	6.150
Peso del Molde (Kg)	4.247	4.247	4.247	4.247	4.247
Peso del Material en el Molde (Kg)	1.704	1.800	1.918	1.951	1.903
Peso Volumétrico Húmedo (Kg/m ³)	1,813.0	1,915.0	2,040.0	2,076.0	2,024.0
Peso Volumétrico Seco (Kg/m ³)	1,716.0	1,747.0	1,808.0	1,775.0	1,681.0

Contenido de Agua de la Muestra Compactada

Tara N°	16	144	128	135	725
Peso de la Tara + Material Húmedo (gr)	156.1	153.6	143.9	149.0	153.4
Peso de la Tara + Material Seco (gr)	149.7	143.1	131.6	132.5	133.4
Peso de Agua (gr)	6.4	10.5	12.3	16.5	20.0
Peso de Tara (gr)	36.4	33.5	36.1	35.2	35.5
Peso de Material Seco (gr)	113.3	109.6	95.5	97.3	97.9
Contenido de Humedad (%)	5.6	9.6	12.9	17.0	20.4



Gráfica V.21 Líneas de Tendencias para obtener $\delta_{máx}$ y H_{opt}

Muestra N°2

Prueba de Compactación Proctor Estándar

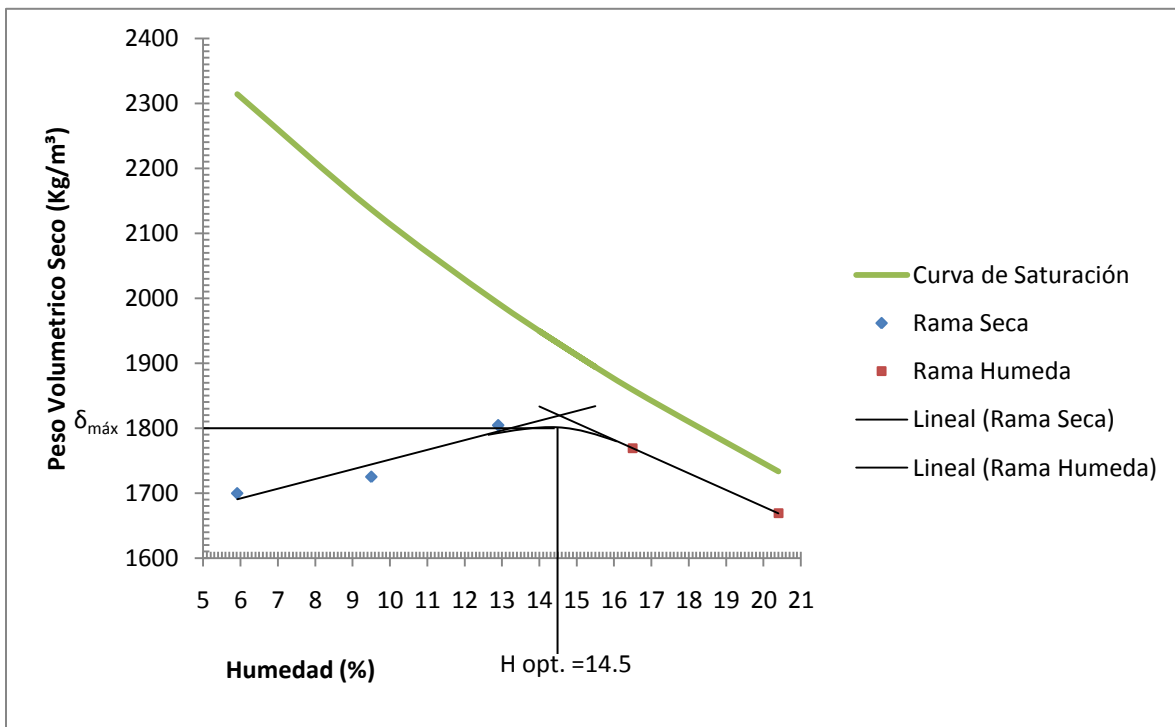
Molde N°: 5 Peso: 4.247 Kg. Volumen : 0.94 Lts Diámetro: 10.16 cm
 Peso del Martillo: 5.5 Lbs Caída: 12" Golpes por capa: 25 N° de Capas: 3

Compactación de la Muestra

Peso del Material + Molde (Kg)	5.939	6.022	6.162	6.185	6.135
Peso del Molde (Kg)	4.247	4.247	4.247	4.247	4.247
Peso del Material en el Molde (Kg)	1.692	1.775	1.915	1.938	1.888
Peso Volumétrico Húmedo (Kg/m³)	1,800.0	1,888.0	2,037.0	2,062.0	2,009.0
Peso Volumétrico Seco (Kg/m³)	1,700.0	1,725.0	1,805.0	1,769.0	1,669.0

Contenido de Agua de la Muestra Compactada

Tara N°	5	725	144	136	128
Peso de la Tara + Material Húmedo (gr)	146.0	139.3	148.2	147.7	150.7
Peso de la Tara + Material Seco (gr)	139.9	130.3	135.1	131.8	131.3
Peso de Agua (gr)	6.1	9.0	13.1	15.9	19.4
Peso de Tara (gr)	36.7	35.5	33.5	35.7	36,1
Peso de Material Seco (gr)	103.2	94.8	101.6	96.1	95.2
Contenido de Humedad (%)	5.9	9.5	12.9	16.5	20.4



Gráfica V.22 Líneas de tendencia para obtener $\delta_{máx.}$ y $H_{opt.}$

5.2.4.2 Proctor Modificado

Muestra N°1

Prueba de Compactación Proctor Modificado

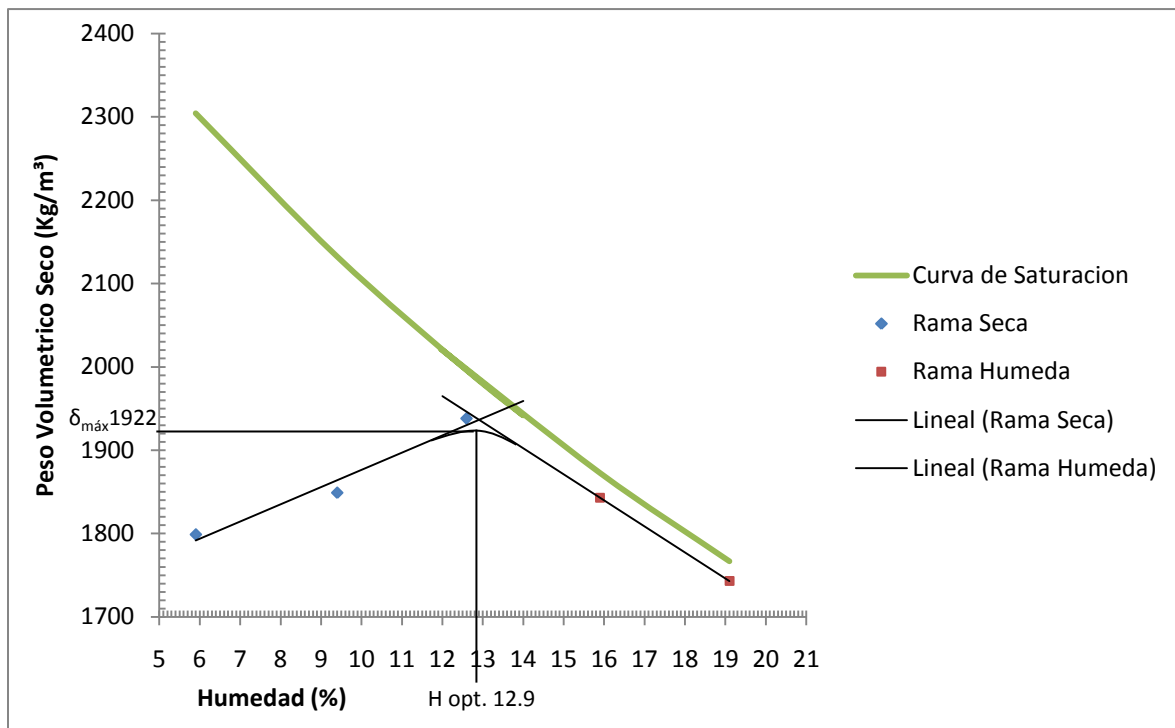
Molde N°: 5 Peso: 4.247 Kg Volumen: 0.94 Lts Diámetro: 10.16 cm
 Peso del Martillo: 11 Lbs Caída: 18" Golpes por capa: 25 N° de Capas: 5

Compactación de la Muestra

Peso del Material + Molde (Kg)	6.038	6.149	6.298	6.256	6.198
Peso del Molde (Kg)	4.247	4.247	4.247	4.247	4.247
Peso del Material en el Molde (Kg)	1.791	1.902	2.051	2.009	1.951
Peso Volumétrico Húmedo (Kg/m ³)	1,905	2,023.0	2,182.0	2,137.0	2,076.0
Peso Volumétrico Seco (Kg/m ³)	1,799	1,849.0	1,938.0	1,843.0	1,743.0

Contenido de Agua de la Muestra Compactada

Tara N°	199	398	237	129	100
Peso de la Tara + Material Húmedo (gr)	133.4	140.5	134.7	146.6	153.1
Peso de la Tara + Material Seco (gr)	128.0	131.4	123.6	131.6	134.7
Peso de Agua (gr)	5.4	9.1	11.1	15.0	18.4
Peso de Tara (gr)	36.5	34.8	35.3	37.5	38.3
Peso de Material Seco (gr)	91.5	96.6	88.3	94.1	96.4
Contenido de Humedad (%)	5.9	9.4	12.6	15.9	19.1



Gráfica V.23 Líneas de Tendencias para obtener $\delta_{máx.}$ y H_{opt}

Muestra N°2

Prueba de Compactación Proctor Modificado

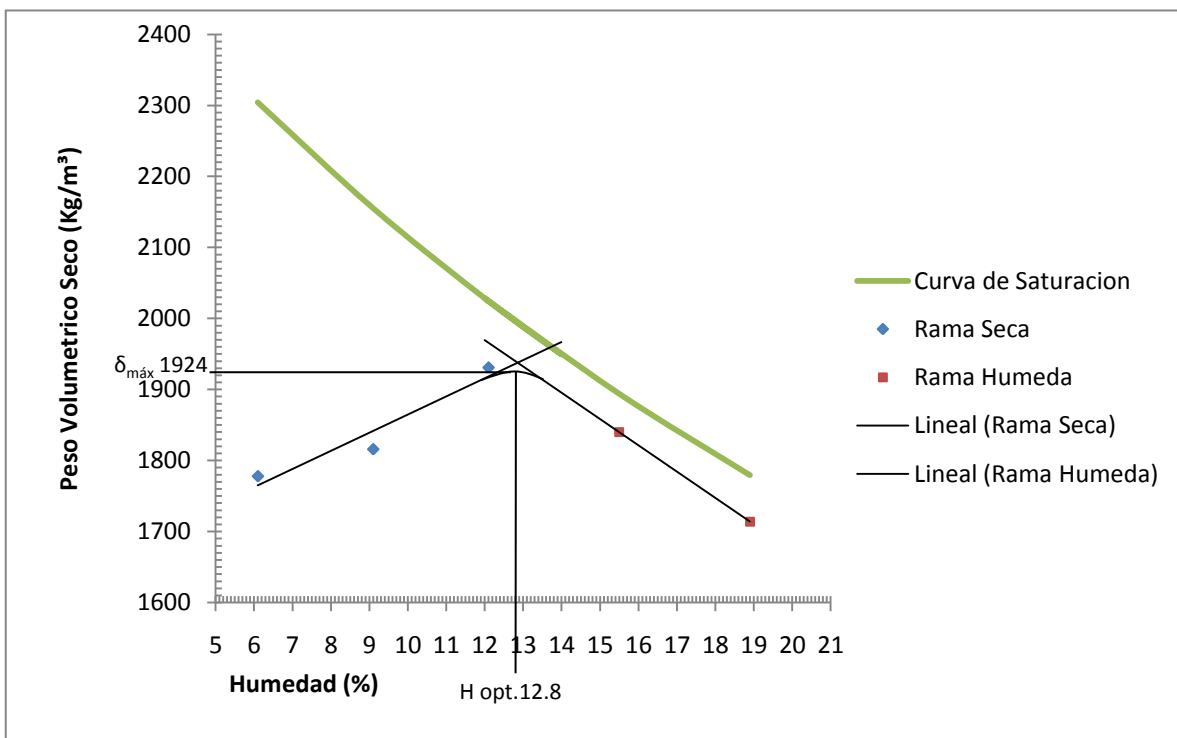
Molde N°: 5 Peso: 4.247 Kg Volumen: 0.94 Lts Diámetro: 10.16 cm
 Peso del Martillo: 11 Lbs Caída: 18" Golpes por capa: 25 N° de Capas: 5

Compactación de la Muestra

Peso del Material + Molde (Kg)	6.021	6.110	6.282	6.245	6.163
Peso del Molde (Kg)	4.247	4.247	4.247	4.247	4.247
Peso del Material en el Molde (Kg)	1.774	1.863	2.035	1.998	1.916
Peso Volumétrico Húmedo (Kg/m ³)	1,887.0	1,982.0	2,165.0	2,126.0	2,038.0
Peso Volumétrico Seco (Kg/m ³)	1,778.0	1,816.0	1,931.0	1,840.0	1,714.0

Contenido de Agua de la Muestra Compactada

Tara N°	21	28	124	135	16
Peso de la Tara + Material Húmedo (gr)	146.1	142.8	140.4	147.8	153.4
Peso de la Tara + Material Seco (gr)	140.4	133.7	129.3	132.7	134.8
Peso de Agua (gr)	5.7	9.1	11.1	15.1	18.6
Peso de Tara (gr)	47.5	34.2	37.5	35.2	36.4
Peso de Material Seco (gr)	92.9	99.5	91.8	97.5	98.4
Contenido de Humedad (%)	6.1	9.1	12.1	15.5	18.9



Gráfica V.24 Líneas de Tendencias para obtener $\delta_{máx.}$ y $H_{opt.}$

Tabla V.22 Resultados Obtenidos de Pruebas de Compactación.**Proctor Estándar**

Muestra N°	% H Optimo	Peso Volumétrico Seco Máximo (Kg/m³)
1	15	1,818.0
2	14.5	1,800.0
Promedio		
	14.8	1,809.0

Proctor Modificado

Muestra N°	% H Optimo	Peso Volumétrico Seco Máximo (Kg/m³)
1	12.9	1,922.0
2	12.8	1,924.0
Promedio		
	12.9	1,923.0

Tabla V.23 Propiedades Volumétricas y Gravimétricas del Material Selecto Compactado.

Descripción	<i>n</i> (%)	<i>e</i>	<i>S_r</i> (%)
Proctor Estándar	32	0.48	83
Proctor Modificado	28	0.39	89

5.2.5 Relación de Carga California (CBR)

Prueba de CBR saturado (Estándar)

P.V.S. Máximo (Kg/m ³)	1,809.0	Humedad Óptima (%)	14.8
Peso del Martillo (Lbs.)	5.5	Numero de Capas	3
Altura de Caída (Plg)	12	Sobrecarga (Lbs.)	15.0
Altura del Espécimen (cm)	12.7	Volumen del Espécimen (Lts)	2.315

Grado de Compactación

Molde (Nº)	0-6	41	29
Nº de golpes por Capa	16	36	71
Peso del Material Húmedo + Molde (Kg)	11.290	11.632	11.909
Peso del Molde (Kg)	7.110	7.170	7.250
Peso del Material Húmedo (Kg)	4.180	4.462	4.659
P.V.H. (Kg/m ³)	1,806.0	1,927.0	2,013.0
Humedad (%)	12.8	13.2	12.9
P.V.S. (Kg/m ³)	1,601.0	1,703.0	1,783.0
% de compact. Reproducido	89	94	99

Resistencia a la Penetración

<i>Penetración Sometida (Plg)</i>	<i>Deformación</i>	<i>Carga (Kg)</i>	<i>Deformación</i>	<i>Carga (Kg)</i>	<i>Deformación</i>	<i>Carga (Kg)</i>
0,025	8	37.0	10	46.0	20	93.0
0,050	20	93.0	25	116.0	80	371.0
0,075	40	186.0	53	246.0	130	603.0
0,100 (1360,85 Kg)	52	241.0	86	399.0	160	743.0
0,150	85	395.0	143	664.0	220	1,021.0
0,200 (2041,28 Kg)	110	511.0	190	882.0	285	1,323.0
0,300	150	696.0	260	1,207.0	400	1,857.0
C.B.R. (Corregido)						

Hinchamiento

Lectura Final (mm)	0.91	0.91	0.90
Lectura Inicial (mm)	0.90	0.90	0.90
Diferencia de Lecturas (mm)	0.01	0.01	0.00
Hinchamiento (%)	0.01	0.01	0.00
Tiempo en Saturación (Hr)	96	96	96

Determinación de la Humedad (Estándar)

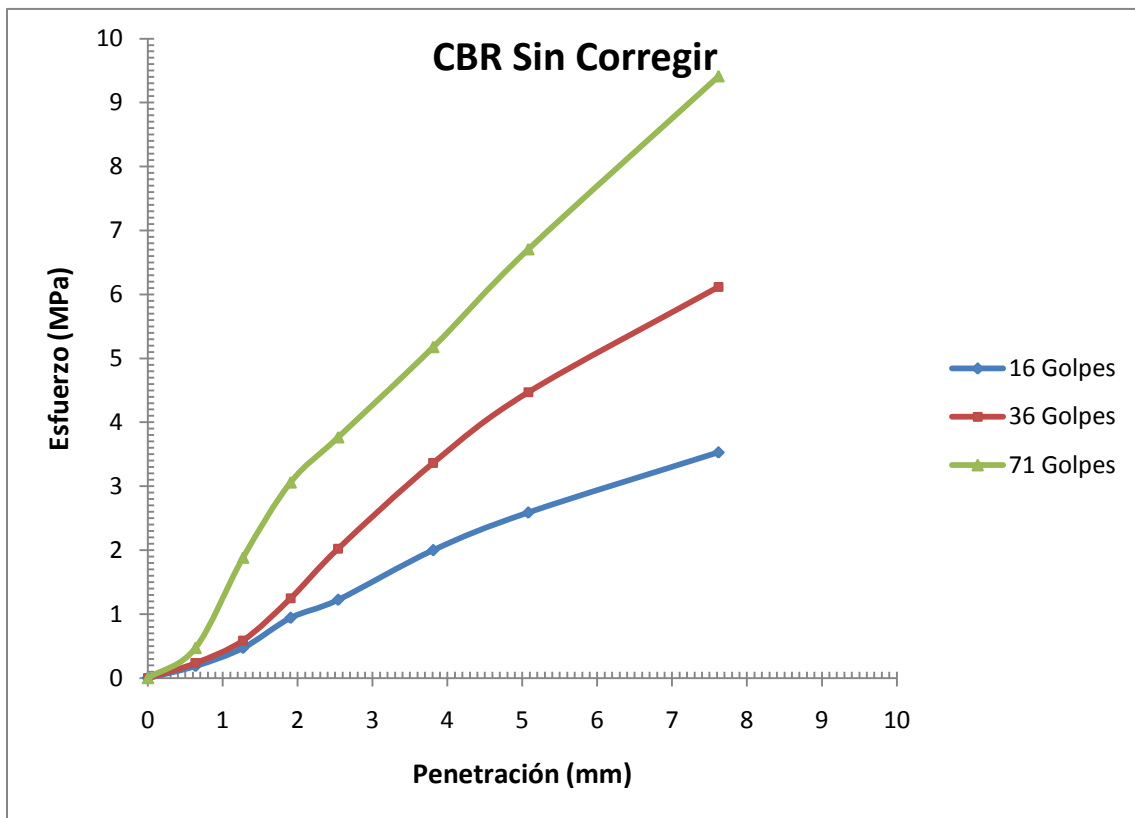
<i>Ensaye N°</i>	<i>1(16 golpes)</i>	
Recipiente N°	J-49	T-32
Peso Húmedo + Recipiente (gr)	133.0	132.1
Peso Seco + Recipiente (gr)	121.1	119.9
Agua (gr)	11.9	12.2
Peso Seco + Recipiente (gr)	121.1	119.9
Peso del Recipiente (gr)	25.3	26.7
Peso Seco - Recipiente (gr)	95.8	93.2
Contenido de Humedad (%)	12.4	13.1
Promedio de Humedades (%)	12.8	

<i>Ensaye N°</i>	<i>2(36 golpes)</i>	
Recipiente N°	82	398
Peso Húmedo + Recipiente (gr)	149.3	145.9
Peso Seco + Recipiente (gr)	135.8	133.1
Agua (gr)	13.5	12.8
Peso Seco + Recipiente (gr)	135.8	133.1
Peso del Recipiente (gr)	34.1	34.8
Peso Seco - Recipiente (gr)	101.7	98.3
Contenido de Humedad (%)	13.3	13.0
Promedio de Humedades (%)	13.1	

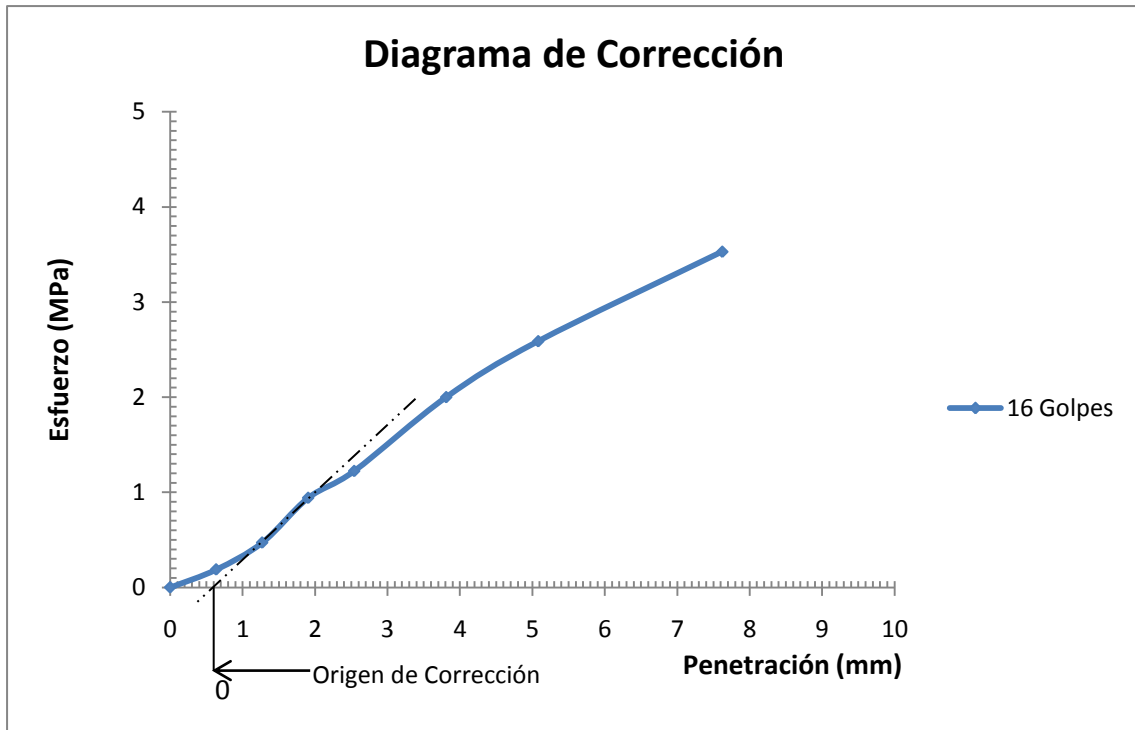
<i>Ensaye N°</i>	<i>3(71 golpes)</i>	
Recipiente N°	330	112
Peso Húmedo + Recipiente (gr)	141.1	143.9
Peso Seco + Recipiente (gr)	128.8	132.1
Agua (gr)	12.3	11.8
Peso Seco + Recipiente (gr)	128.8	132.1
Peso del Recipiente (gr)	35.0	38.3
Peso Seco - Recipiente (gr)	93.8	93.8
Contenido de Humedad (%)	13.1	12.6
Promedio de Humedades (%)	12.8	

Tabla V.24 Valores de Resistencia a la Penetración (Datos sin Corregir)

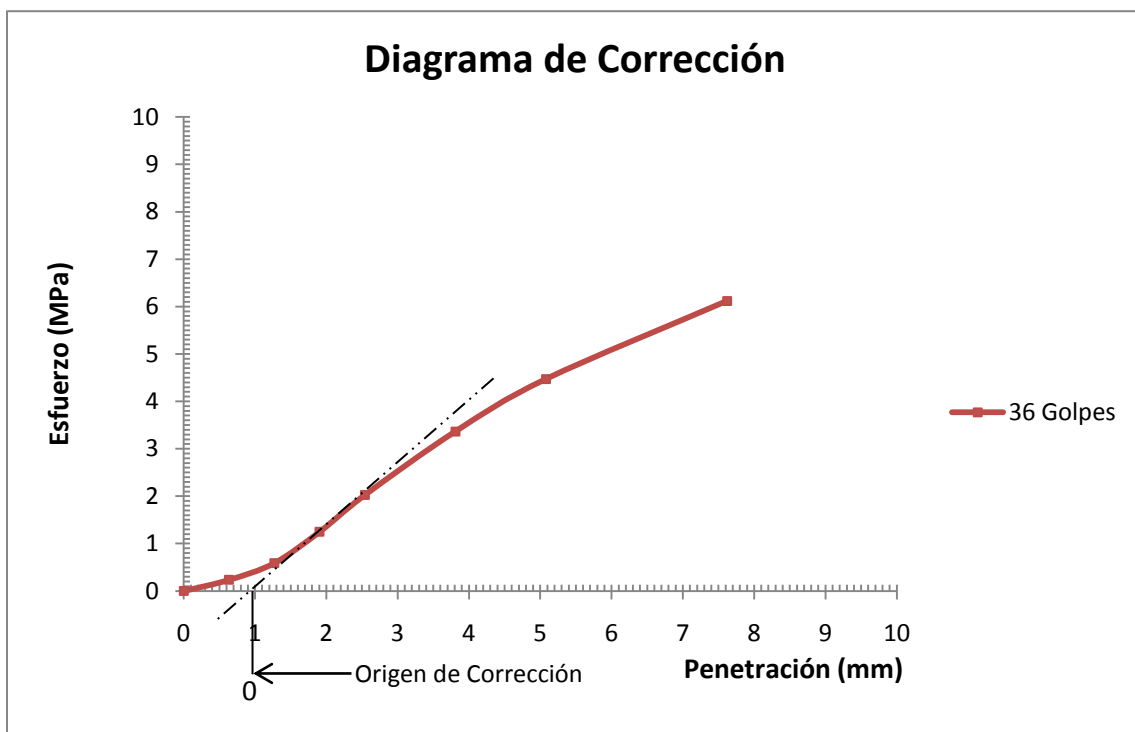
Penetración		16 Golpes (MPa)	36 Golpes (MPa)	71 Golpes (MPa)
Plg	mm			
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.025	0.6	0.2	0.2	0.5
0.05	1.3	0.5	0.6	1.9
0.075	1.9	0.9	1.2	3.1
0.1	2.5	1.2	2.0	3.8
0.15	3.8	2.0	3.4	5.2
0.2	5.1	2.6	4.5	6.7
0.3	7.6	3.5	6.1	9.4



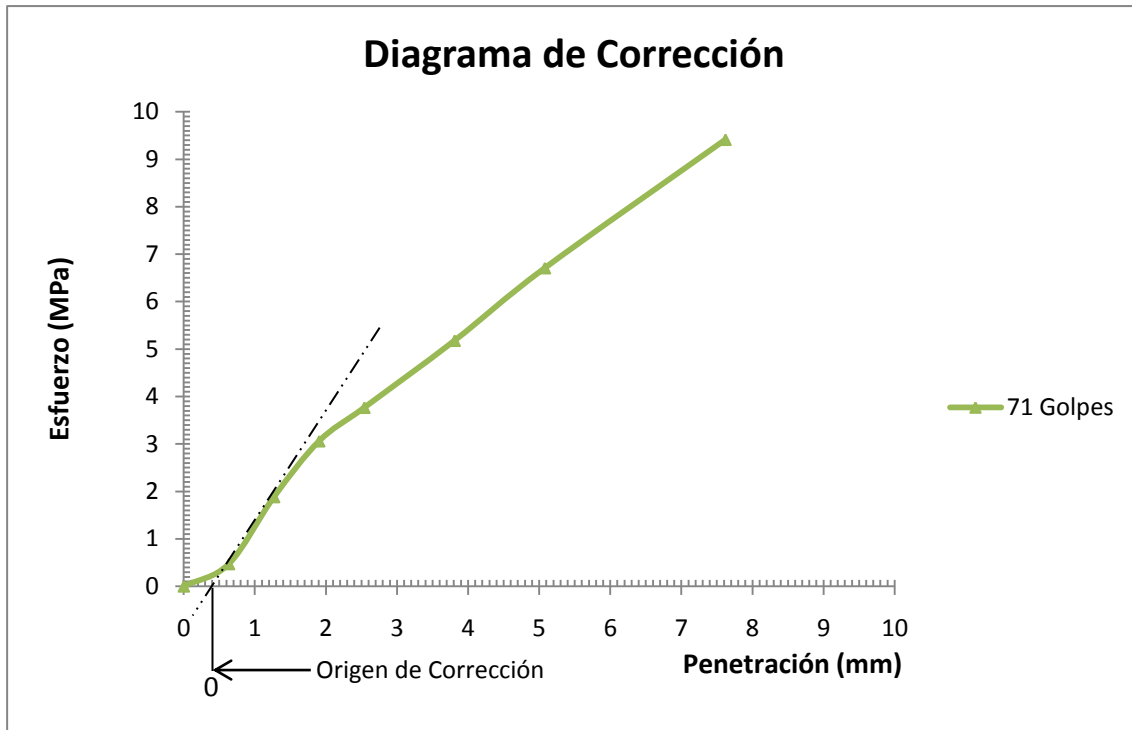
Gráfica V.25 Comportamiento de Esfuerzo Vs Deformación a distintos números de Golpes



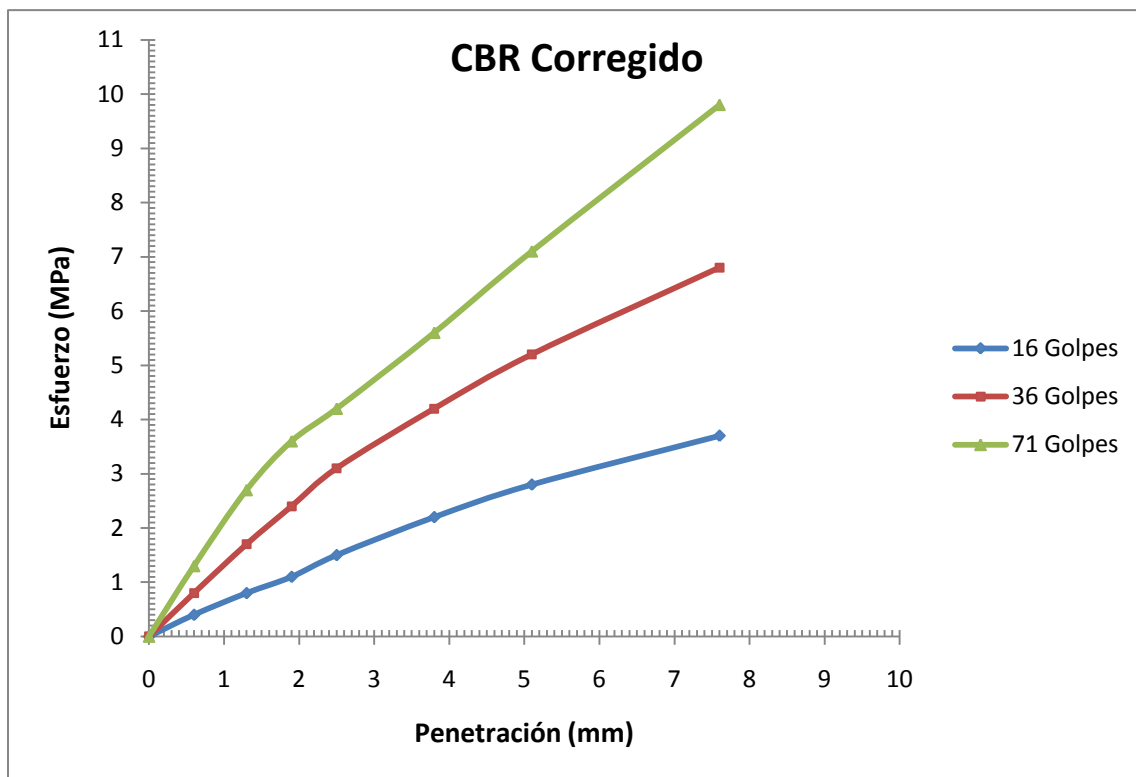
Gráfica V.26 Corrección del Comportamiento de Esfuerzo Vs Deformación a 16 Golpes.



Gráfica V.27 Corrección del Comportamiento de Esfuerzo Vs Deformación a 36 Golpes.



Gráfica V.28 Corrección del Comportamiento de Esfuerzo Vs Deformación a 71 Golpes.

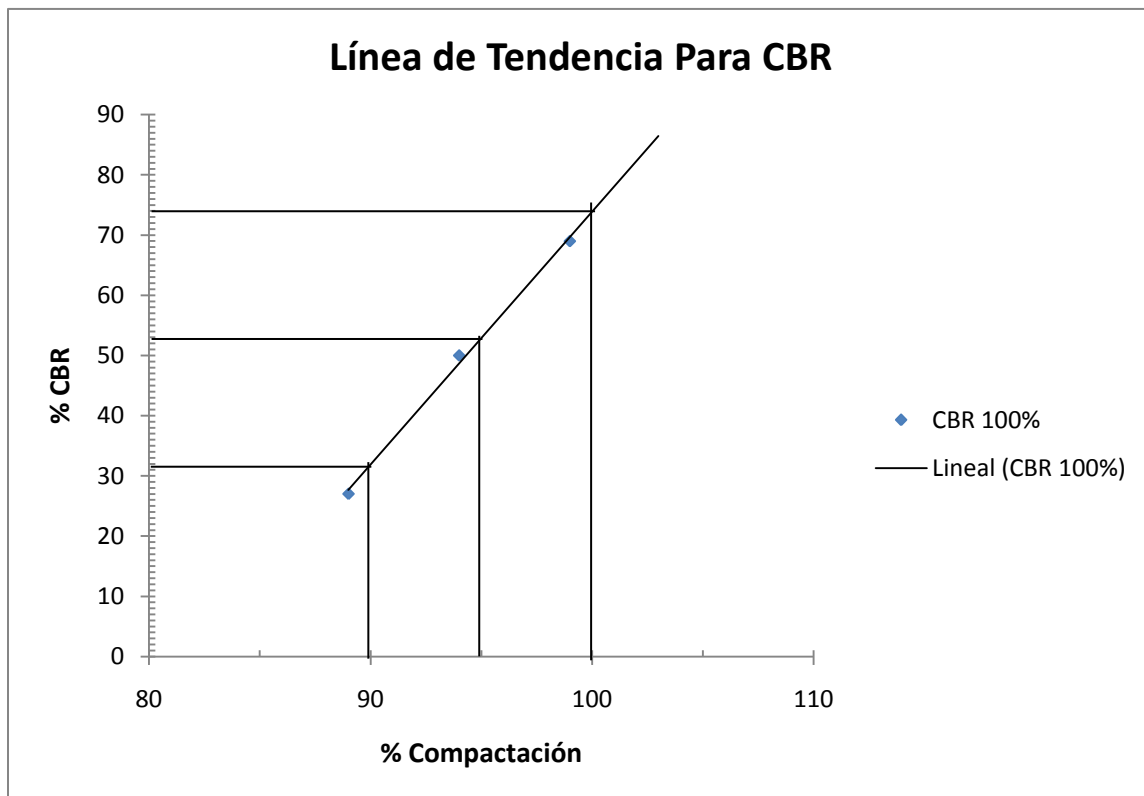


Gráfica V.29 Comportamiento de Esfuerzo Vs Deformación Corregido.

Tabla V.25 Resultados Prueba de CBR.
CBR Estándar

Resistencia a la Penetración (Datos Corregido)

Penetración		Esfuerzo		
Plg.	mm	16 Golpes (MPa)	36 Golpes (MPa)	71 Golpes (MPa)
0.0	0.0	0	0	0
0.025	0.6	0.4	0.8	1.3
0.05	1.3	0.8	1.7	2.7
0.075	1.9	1.1	2.4	3.6
0.1	2.5	1.5	3.1	4.2
0.15	3.8	2.2	4.2	5.6
0.2	5.1	2.8	5.2	7.1
0.3	7.6	3.7	6.8	9.8
% de CBR Obtenidos				
0.2	5.1	2.8	5.2	7.1
Carga patrón (MPa)		10.3	10.3	10.3
% de CBR		27	50	69
% de Compactación		89	94	99



Gráfica V.30 Obtención de Valores de CBR para distintos % de Compactación.

Prueba de CBR saturado (Modificado)

P.V.S. Máximo (Kg/m ³)	1,923.0	Humedad Óptima (%)	12.9
Peso del Martillo (Lbs.)	11	Numero de Capas	5
Altura de Caída (Plg)	18	Sobrecarga (Lbs.)	10
Altura del Espécimen (cm)	12.7	Volumen del Espécimen (Lts)	2.315

Grado de Compactación

Molde (Nº)	37	25	0-7
Nº de golpes por Capa	16	36	71
Peso del Material Húmedo + Molde (Kg)	11.709	11.922	12.265
Peso del Molde (Kg)	7.140	7.155	7.270
Peso del Material Húmedo (Kg)	4.569	4.767	4.995
P.V.H. (Kg/m ³)	1,974.0	2,059.0	2,158.0
Humedad (%)	14.5	14.2	12.9
P.V.S. (Kg/m ³)	1,724.0	1,803.0	1,911.0
% de compact. Reproducido	90	94	99

Resistencia a la Penetración

<i>Penetración Sometida (Plg)</i>	<i>Deformación</i>	<i>Carga (Kg)</i>	<i>Deformación</i>	<i>Carga (Kg)</i>	<i>Deformación</i>	<i>Carga (Kg)</i>
0,025	10	46.0	35	162.0	65	302.0
0,050	40	186.0	75	348.0	115	534.0
0,075	70	325.0	135	627.0	220	1,021.0
0,100 (1360,85 Kg)	123	571.0	210	975.0	325	1,509.0
0,150	205	952.0	315	1,462.0	425	1,973.0
0,200 (2041,28 Kg)	255	1,184.0	390	1,810.0	530	2,460.0
0,300	335	1,555.0	512	2,377.0	710	3,296.0
C.B.R. (Corregido)						

Hinchamiento

Lectura Final (mm)	0.91	0.90	0.90
Lectura Inicial (mm)	0.90	0.90	0.90
Diferencia de Lecturas (mm)	0.01	0.00	0.00
Hinchamiento (%)	0.01	0.00	0.00
Tiempo en Saturación (Hr)	96	96	96

Determinación de la Humedad (Modificado)

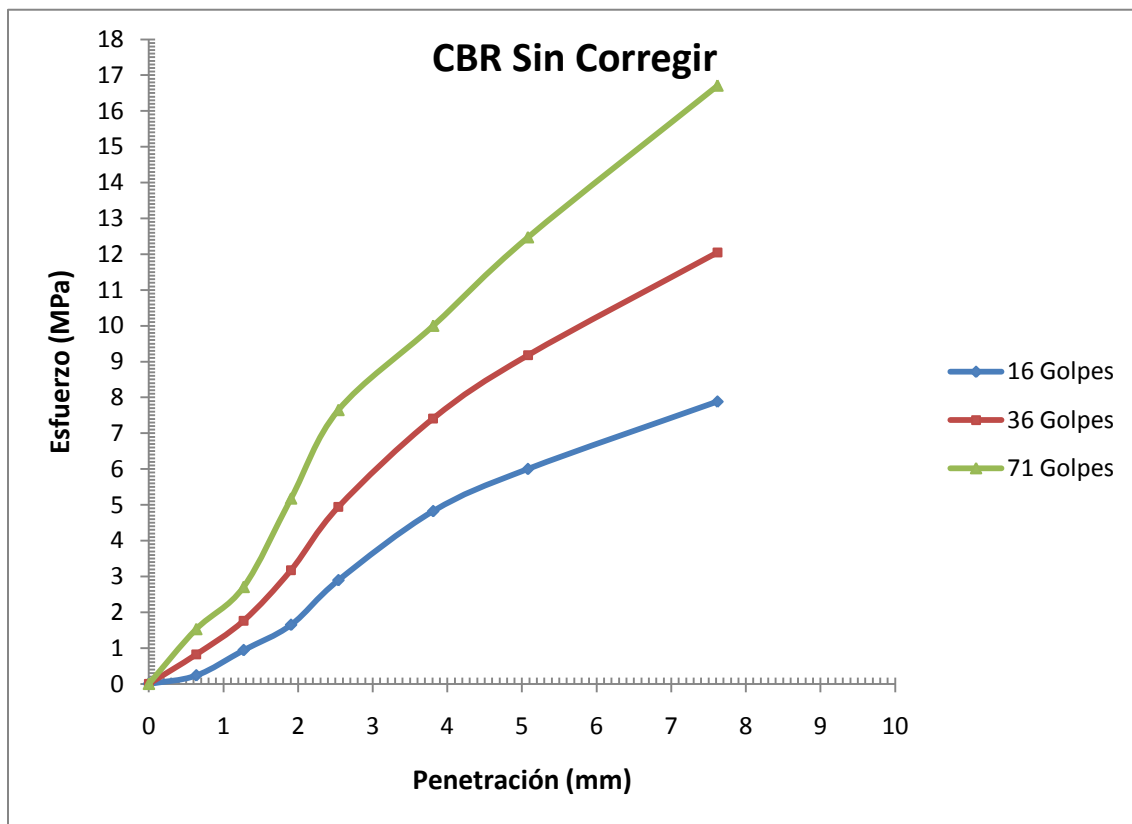
<i>Ensaye N°</i>	<i>1(16golpes)</i>	
Recipiente N°	128	129
Peso Húmedo + Recipiente (gr)	145.6	143.7
Peso Seco + Recipiente (gr)	132.4	129.7
Agua (gr)	13.2	14.0
Peso Seco + Recipiente (gr)	132.4	129.7
Peso del Recipiente (gr)	36.1	37.5
Peso Seco - Recipiente (gr)	96.3	92.2
Contenido de Humedad (%)	13.7	15.2
Promedio de Humedades (%)	14.4	

<i>Ensaye N°</i>	<i>2(36 golpes)</i>	
Recipiente N°	725	5
Peso Húmedo + Recipiente (gr)	150.3	151.5
Peso Seco + Recipiente (gr)	136.5	136.9
Agua (gr)	13.8	14.6
Peso Seco + Recipiente (gr)	136.5	136.9
Peso del Recipiente (gr)	35.5	36.7
Peso Seco - Recipiente (gr)	101.0	100.2
Contenido de Humedad (%)	13.7	14.6
Promedio de Humedades (%)	14.1	

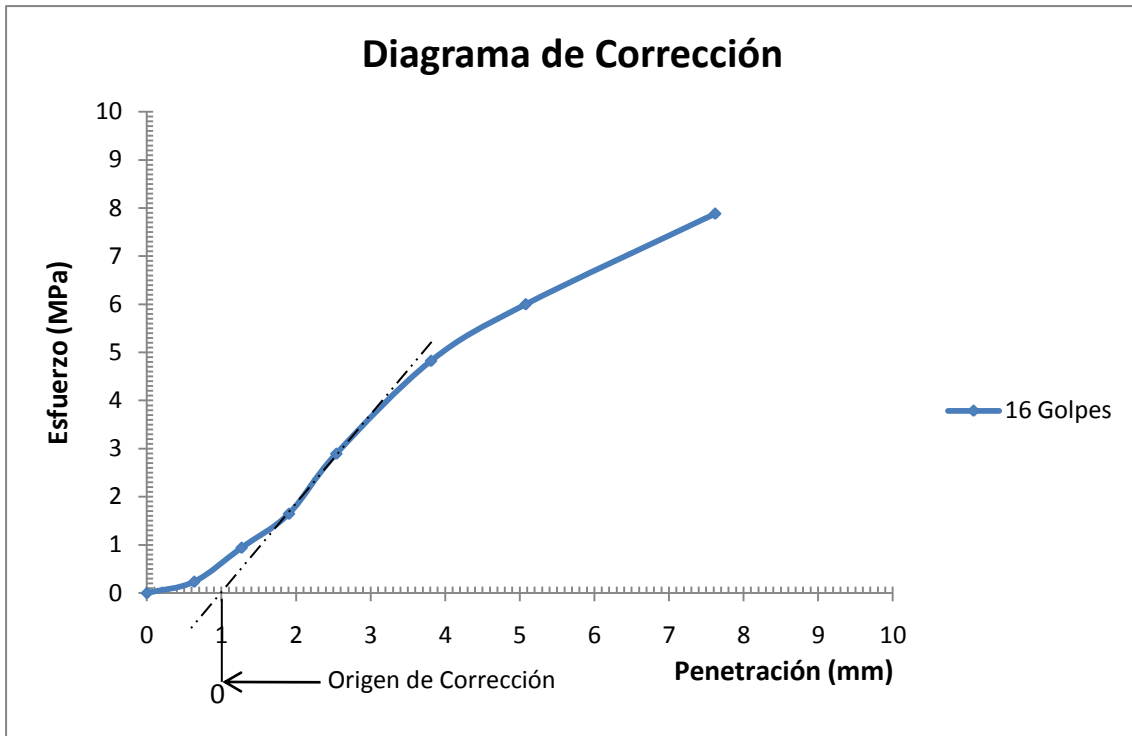
<i>Ensaye N°</i>	<i>3(71 golpes)</i>	
Recipiente N°	144	136
Peso Húmedo + Recipiente (gr)	152.0	153.3
Peso Seco + Recipiente (gr)	138.5	140.0
Agua (gr)	13.5	13.3
Peso Seco + Recipiente (gr)	138.5	140.0
Peso del Recipiente (gr)	33.5	35.7
Peso Seco - Recipiente (gr)	105.0	104.3
Contenido de Humedad (%)	12.9	12.8
Promedio de Humedades (%)	12.8	

Tabla V.26 Valores de Resistencia a la Penetración (Datos sin Corregir)

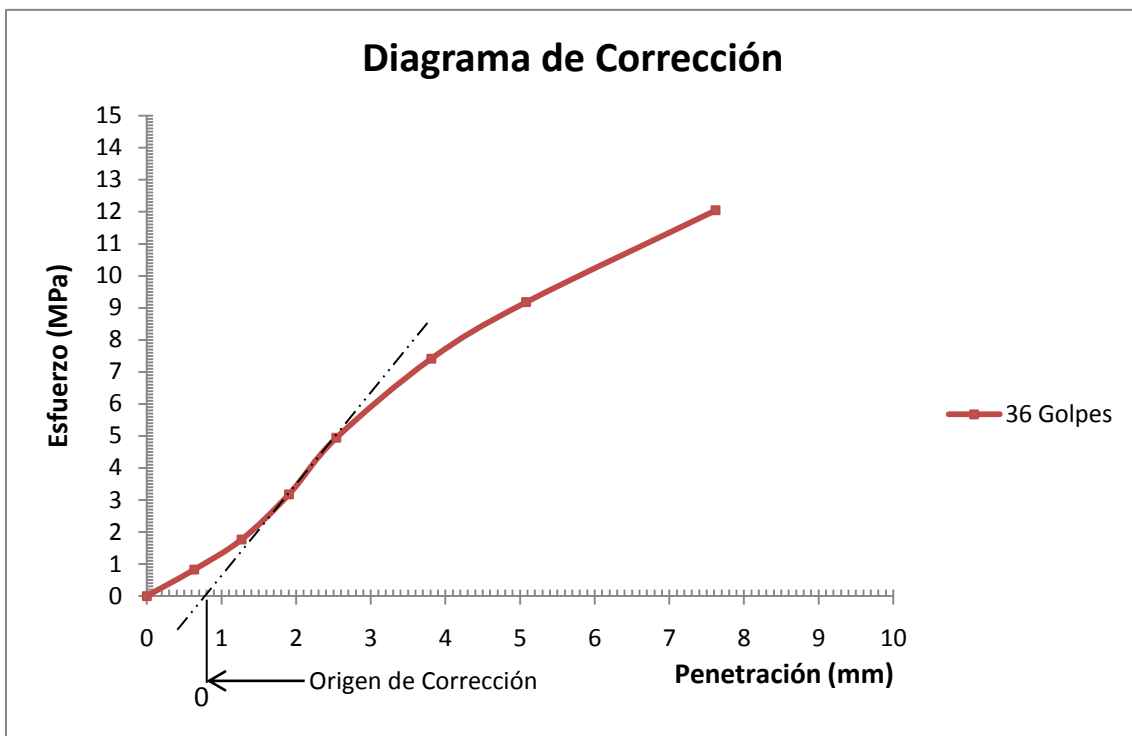
Penetración		16 Golpes (MPa)	36 Golpes (MPa)	71 Golpes (MPa)
Plg	mm			
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.025	0.6	0.2	0.8	1.5
0.05	1.3	0.9	1.8	2.7
0.075	1.9	1.6	3.2	5.2
0.1	2.5	2.9	4.9	7.6
0.15	3.8	4.8	7.4	10.0
0.2	5.1	6.0	9.2	12.5
0.3	7.6	7.9	12.0	16.7



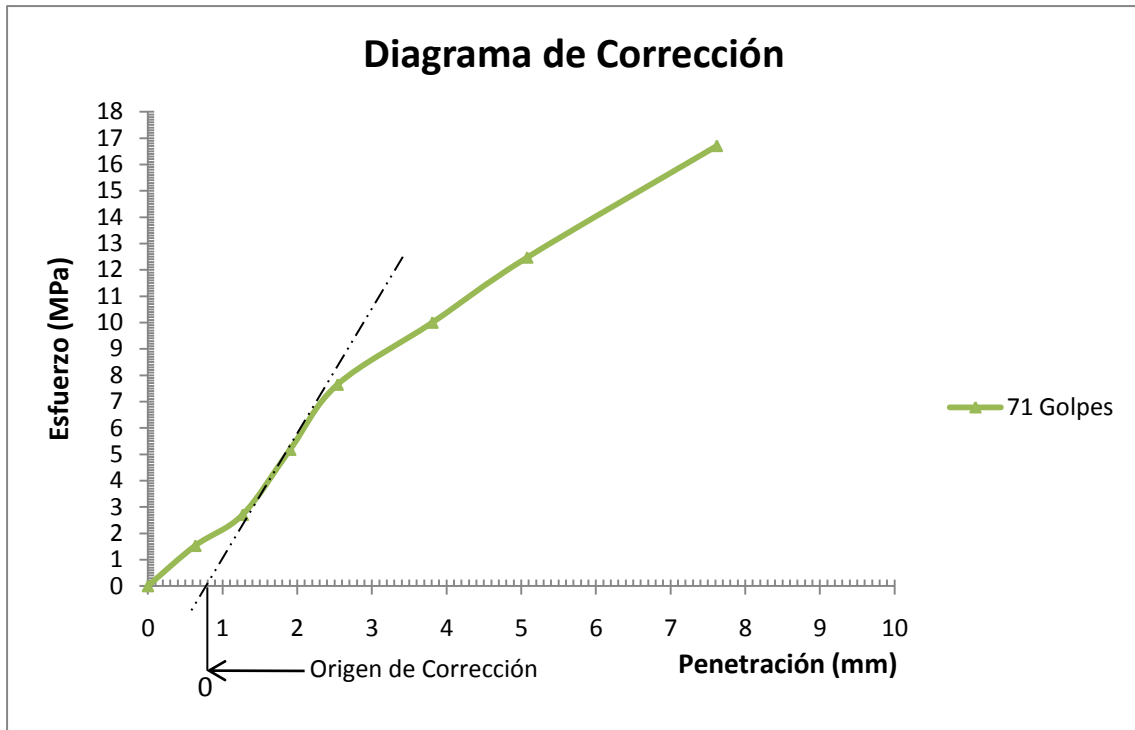
Gráfica V.31 Comportamiento de Esfuerzo Vs Deformación a distintos números de Golpes



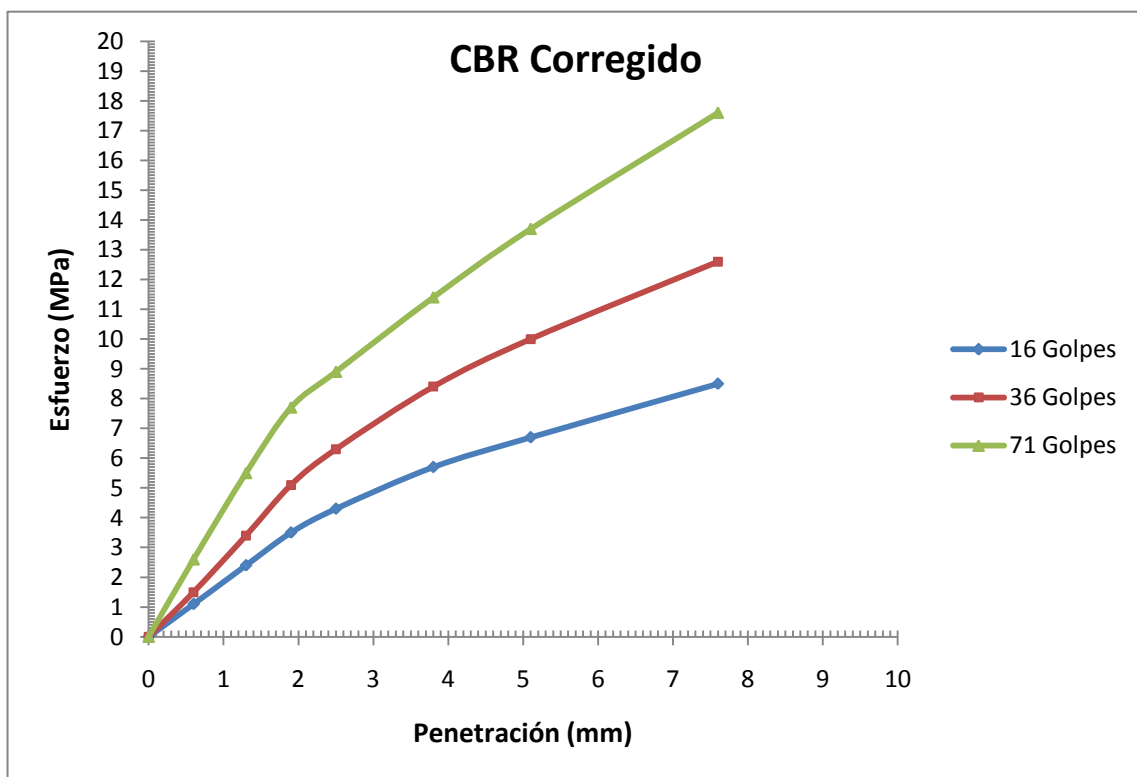
Gráfica V.32 Corrección del Comportamiento de Esfuerzo Vs Deformación a 16 Golpes.



Gráfica V.33 Corrección del Comportamiento de Esfuerzo Vs Deformación a 36 Golpes.



Gráfica V.34 Corrección del Comportamiento de Esfuerzo Vs Deformación a 71 Golpes.

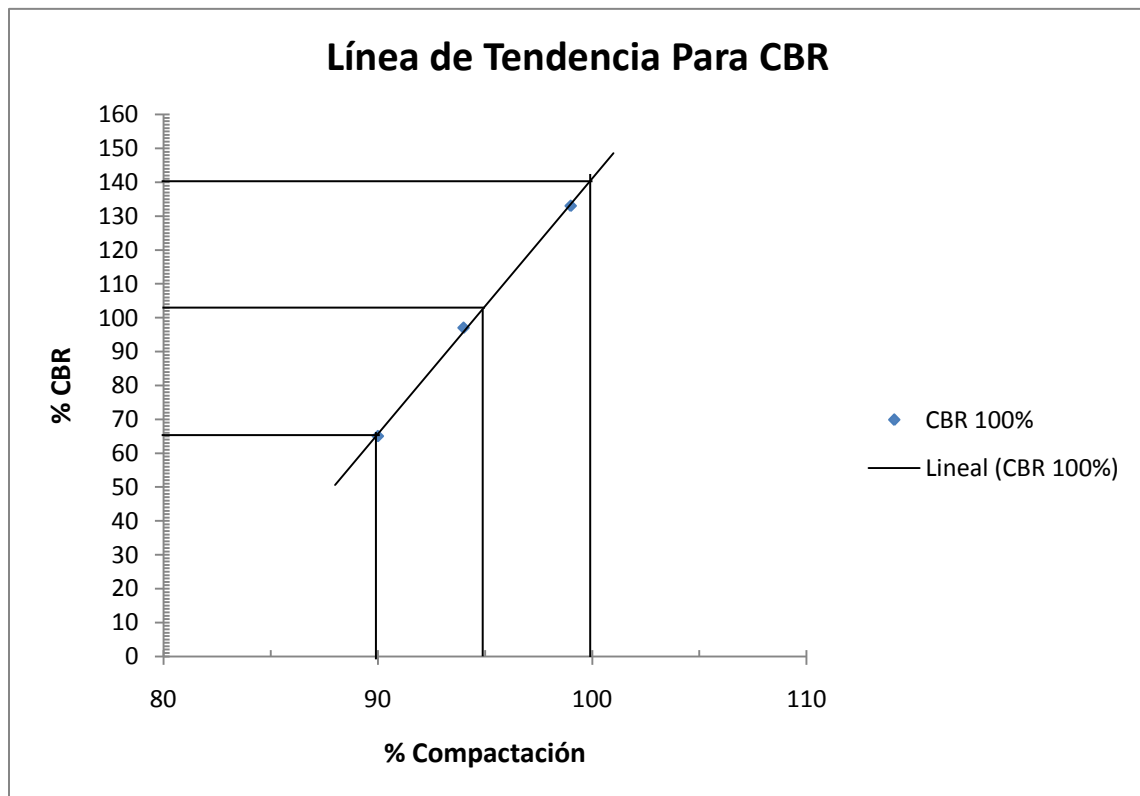


Gráfica V.35 Comportamiento de Esfuerzo Vs Deformación Corregido.

Tabla V.27 Resultados Prueba de CBR.
CBR Estándar

Resistencia a la Penetración (Datos Corregido)

Penetración		Esfuerzo		
Plg.	mm	16 Golpes (MPa)	36 Golpes (MPa)	71 Golpes (MPa)
0.0	0.0	0	0	0
0.025	0.6	1.1	1.5	2.6
0.05	1.3	2.4	3.4	5.5
0.075	1.9	3.5	5.1	7.7
0.1	2.5	4.3	6.3	8.9
0.15	3.8	5.7	8.4	11.4
0.2	5.1	6.7	10.0	13.7
0.3	7.6	8.5	12.6	17.6
% de CBR Obtenidos				
0.2	5.1	6.7	10.0	13.7
Carga patrón (MPa)		10.3	10.3	10.3
% de CBR		65	97	133
% de Compactación		90	94	99



Gráfica V.36 Obtención de Valores de CBR para distintos % de Compactación.

Tabla V.28 Valores de CBR para los diferentes Porcentajes de Compactación.**Banco “La Veta” Material Gris Claro**

CBR Estándar	
% de Compactación	% de CBR
90	32
95	53
100	74
CBR Modificado	
% de Compactación	% de CBR
90	66
95	104
100	141

Tabla V.29 Informe de Ensayes de Suelos
Banco “La Veta” Material Gris Claro

Granulometría	
Tamaño Máximo	Nº 10
Relación de Finos	0.44
Límites de Atterberg	
Límite Líquido	-
Índice de Plasticidad	NP
Clasificación	
Clasificación H.R.B	A-1-b(0)
Clasificación S.U.C.S	SM
Pruebas de Compactación	
Proctor Estándar	
Peso Volumétrico Seco Máximo (Kg/m ³)	1,809.0
Humedad Óptima (%)	14.8
Enjuntamiento	0.94
Porosidad (%)	32
Relación de Vacíos	0.48
Grado de Saturación (%)	83
Proctor Modificado	
Peso Volumétrico Seco Máximo (Kg/m ³)	1,923.0
Humedad Óptima (%)	12.9
Enjuntamiento	0.89
Porosidad (%)	28
Relación de Vacíos	0.39
Grado de Saturación (%)	89
C.B.R. Estándar	
% de Compactación	% de CBR
90	32
95	53
100	74
C.B.R. Modificado	
% de Compactación	% de CBR
90	66
95	104
100	141
Pesos Volumétricos	
Peso Volumétrico Seco Suelto (Kg/m ³)	1,573.0
Peso Volumétrico Seco Varillado (Kg/m ³)	1,703.0
Abundamiento	1.08
Gravedad Específica	
2.68	

Tabla V.30 Análisis de Resultados para Uso Ingenieril conforme a Normativas y Especificaciones

Banco	Normativa de referencia	Parámetros		Resultados Obtenidos del Banco		Observación
Banco la Veta (Selecto Gris Claro)	Clasificación AASHTO	Explanada y Subrasante	Tamiz % Q.P. No. 40 = 50 máx. No.200 = 25 máx.	Tamiz % Q.P. No. 40 = 49 No.200 = 22	Se clasifica como A-1-b(0), presentando una calidad excelente para este uso en particular y es altamente estable bajo condiciones críticas, debido a que su índice de grupo pone de manifiesto la ausencia de material arcilloso.	
	NIC - 2000	Sub-base	Tamiz % Q.P. 1 ½ " = 100 No. 4 = 35 - 65 No. 200 = 0 - 10	Tamiz % Q.P. 1 ½ " = 100 No. 4 = 97 No. 200 = 22	El material no cumple con la normativa granulométrica para dicho uso, sin embargo, satisface las normativas bajo la perspectiva de plasticidad y resistencia mecánica. Alcanzando valores de CBR > 50 % para % de compactación ≥ al 95% estándar y ≥ 90 % modificado.	
			L.L. = 25 máx. I.P. = 6 máx. C.B.R. = 50 min.	L.L. = 0 I.P. = 0 C.B.R. = 53 - 141		
	Principios de Diseño de Pavimentos, Jhon Wiley & Sons, 1959	Sub-base	C.B.R. = 20 - 50 SUCS = GM, GC, GW, GP, SM, SP. AASHTO = A-1-b, A-2-5, A-3, A-2-6	C.B.R. = 32 - 53 SUCS = SM AASHTO = A-1-b(0)	Presenta una buena calidad, cumpliendo la normativa de clasificación y resistencia mecánica, manteniendo un % de compactación ≥ 90 % estándar e = 90 % modificado.	
		Base	C.B.R. = > 50 SUCS = GM, GC, GW, GP, SM, SP. AASHTO = A-1-a, A-1-b, A-2-5, A-3, A-2-4, A-2-6	C.B.R. = 53 - 141 SUCS = SM AASHTO = A-1-b(0)	Presenta una buena calidad, cumpliendo la normativa de clasificación y resistencia mecánica, manteniendo un % de compactación ≥ 95 % estándar y ≥ 90 % modificado.	
	ASTM D-1241	Base	Ver tabla II.4 Pag.36	Tamiz% Q.P 1 " = 100 3/8 " = 99 No. 4 = 97	Tamiz% Q.P No. 10 = 91 No. 40 = 50 No. 200 = 22	Según rangos granulométricos este material no cumple, sin embargo, bajo la perspectiva de plasticidad y resistencia mecánica se cumple con la normativa, manteniendo un % de compactación ≥ 95 % modificado, para alcanzar valores de CBR > 80 %.
L.L. = 0 I.P. = 0 C.B.R. = 104 - 141 PVSV = 1703 Kg/m3						
Laboratorios IMS	Revestimiento De Caminos	Tamiz % Q.P. 2" = 100 No. 4 = 40 - 60 No. 40 = 20 - 35 No. 200 = 8 - 15	Tamiz % Q.P. 2" = 100 No. 4 = 97 No. 40 = 49 No. 200 = 22	Según rangos granulométricos y criterios de plasticidad este no puede ser utilizado para revestimientos, sin embargo cumple bajo perspectivas de resistencia mecánica manteniendo un porcentaje mínimo de compactación de 90 % estándar.		
L.L. = 40 máx. I.P. = 4 - 10 máx. C.B.R. = 30 min.		L.L. = 0 I.P. = 0 C.B.R. = > 32				

CAPITULO VI: Banco SANDINO





El banco de material selecto de nombre Mina Sandino, está ubicado en el kilómetro 11.5 Carretera Nueva a León y es propiedad del consorcio MAYCO y TECNOSA. S.A, MATECSA. Su encargado el señor Agustín Mercado nos relató que casi un 70% de la mina es de material selecto muy arenoso por cierto, además de que en el banco se ofrece la venta no solo de material selecto, cuyo precio por metro cúbico se tasa en 100 córdobas más IVA, sino también de arena gruesa y fina o de cerro similar a la arena de río pero de una calidad superior a ésta la que se valora en 110 córdobas más IVA por metro cúbico.

El terreno del cual forma parte el yacimiento es de aproximadamente 14 manzanas y el encargado no supo darnos una fecha exacta desde cuando está operando el banco pues hace muy poco que él trabaja allí y recientemente cambió de dueño el banco y pasó a ser propiedad de la empresa MAYCO (Materiales y Construcción) desde hace 1 año. Según la exploración realizada dentro de la mina se encontró un estrato compuesto de cuatro capas descritas como tierra, arena gruesa, arena fina de cerro (lavada), similar a la arena de playa y utilizada en repello por poseer una calidad superior y por último el material selecto.

6.1 Análisis Granulométrico y Pesos Volumétricos

Determinación de Composición Granulométrica y Pesos Volumétricos del Material Seco Suelto

Composición Granulométrica del material Retenido el malla Nº 4

Malla	PRP(gr)	% RP	% RA	% QP
1"	-	-	-	100
¾"	21.0	1	1	99
⅜"	187.0	4	5	95
Nº 4	364.0	7	12	88
Pasa Nº 4	4,282.0	88	100	-
Suma	4,854.0	100	-	-

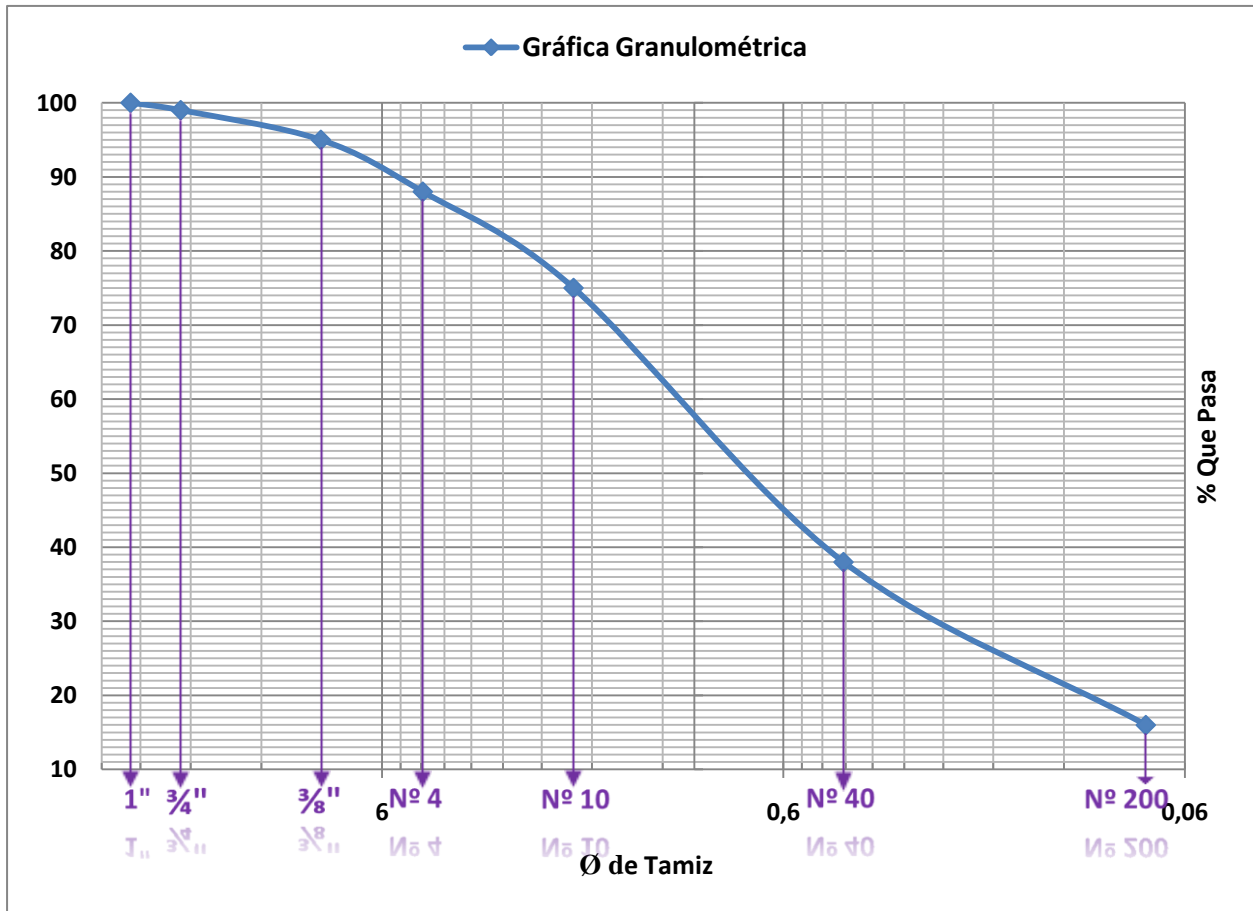
Determinación del Pesos	
PSS (gr)	4,469.0
PSC (gr)	4,847.0
Volumen (cm ³)	2,850.0
Peso Volumétrico(Kg/m ³)	
PVSS	1,568.0
PVSV	1,701.0

Composición Granulométrica del material que pasa la malla Nº 4 (Lavado)

Malla	Peso Retenido Parcial (gr)		% Retenido Parcial		% RP (Promedio)	% RA	% QP
Nº 10	16.0	14.4	14	12	13	25	75
Nº 40	42.3	45.1	36	38	37	62	38
Nº 200	26.1	25.7	22	22	22	84	16
Pasa Nº 200	19.2	18.9	16	16	16	100	-
Suma	103.6	104.1	88	88	88	-	-

Material Lavado (gr)

Prueba No. 1	Peso Seco	104.1	Prueba No. 2	Peso Seco	105.0
	Peso Seco Lavado	84.9		Peso Seco Lavado	86.1
	Pasa Nº 200	19.2		Pasa Nº 200	18.9



Gráfica VI.1 Representación Granulométrica de los porcentajes que pasan por los tamices con aberturas de diámetros variados.

Tabla VI.1 Resultados Obtenidos de Ensaye Granulométrico.

Tamaño Máximo	Nº 4
Relación de Finos	0.42
Peso Volumétrico Seco Suelto (PVSS)	1,568.0 Kg/m ³
Peso Volumétrico Seco Varillado (PVSV)	1,701.0 Kg/m ³

6.2 Límites de Atterberg

Tabla VI.2 Determinación de Límites de Consistencia.

Ensayo N°	No Plástico
1	
2	

6.3 Gravedad Específica

Ensayo de Densidad Referida al Peso Seco (Gravedad Específica)

Determinación N°	1	2
Frasco N°	8	8
Peso del Frasco Lleno de Agua (P), (g)	680.1	680.1
Peso del Material Saturado y Superficialmente Seco (As), (g)	50.0	50.0
Total (P + As), (g)	730.1	730.1
Peso del Frasco con Agua y Material (W), (g)	711.5	711.3
Volumen Desalojado{(P + As) - W}, (g)	18.6	18.8
Densidad	2.69	2.66
Densidad Promedio	2.68	

6.4 Ensayes de Compactación

6.4.1 Proctor Estándar

Ensaye N°1

Prueba de Compactación Proctor Estándar

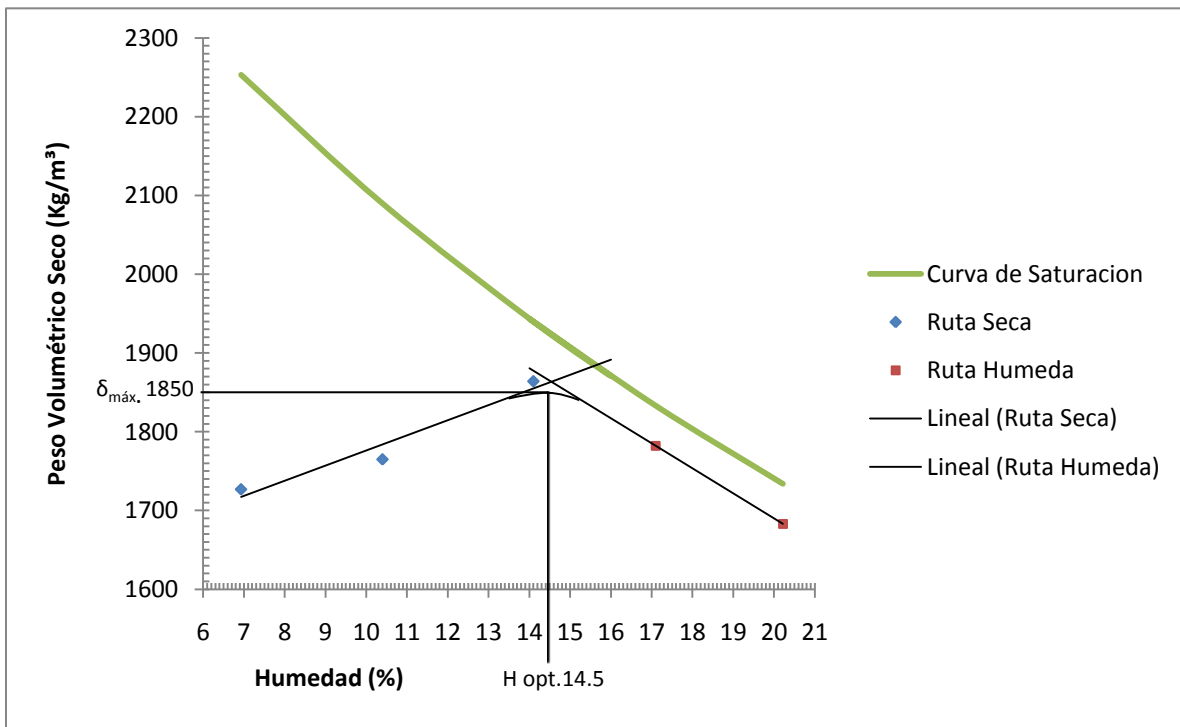
Molde N°: 20 Peso: 4.243 Kg. Volumen : 0.94 Lts Diámetro: 10.16 cm
 Peso del Martillo: 5.5 Lbs Caída: 12" Golpes por capa: 25 N° de Capas: 3

Compactación de la Muestra

Peso del Material + Molde (Kg)	5.979	6.075	6.242	6.205	6.145
Peso del Molde (Kg)	4.243	4.243	4.243	4.243	4.243
Peso del Material en el Molde (Kg)	1.736	1.832	1.999	1.962	1.902
Peso Volumétrico Húmedo (Kg/m ³)	1,847.0	1,949.0	2,127.0	2,087.0	2,023.0
Peso Volumétrico Seco (Kg/m ³)	1,727.0	1,765.0	1,864.0	1,782.0	1,683.0

Contenido de Agua de la Muestra Compactada

Tara N°	117	839	116	717	23
Peso de la Tara + Material Húmedo (gr)	150.9	149.9	144.2	151.2	152.5
Peso de la Tara + Material Seco (gr)	143.4	139.1	130.8	134.1	132.2
Peso de Agua (gr)	7.5	10.8	13.4	17.1	20.3
Peso de Tara (gr)	35.2	35.7	35.7	34.2	31.8
Peso de Material Seco (gr)	108.2	103.4	95.1	99.9	100.4
Contenido de Humedad (%)	6.9	10.4	14.1	17.1	20.2



Gráfica VI.2 Líneas de Tendencia para obtener $\delta_{máx.}$ y $H_{opt.}$

Ensaye N°2

Prueba de Compactación Proctor Estándar

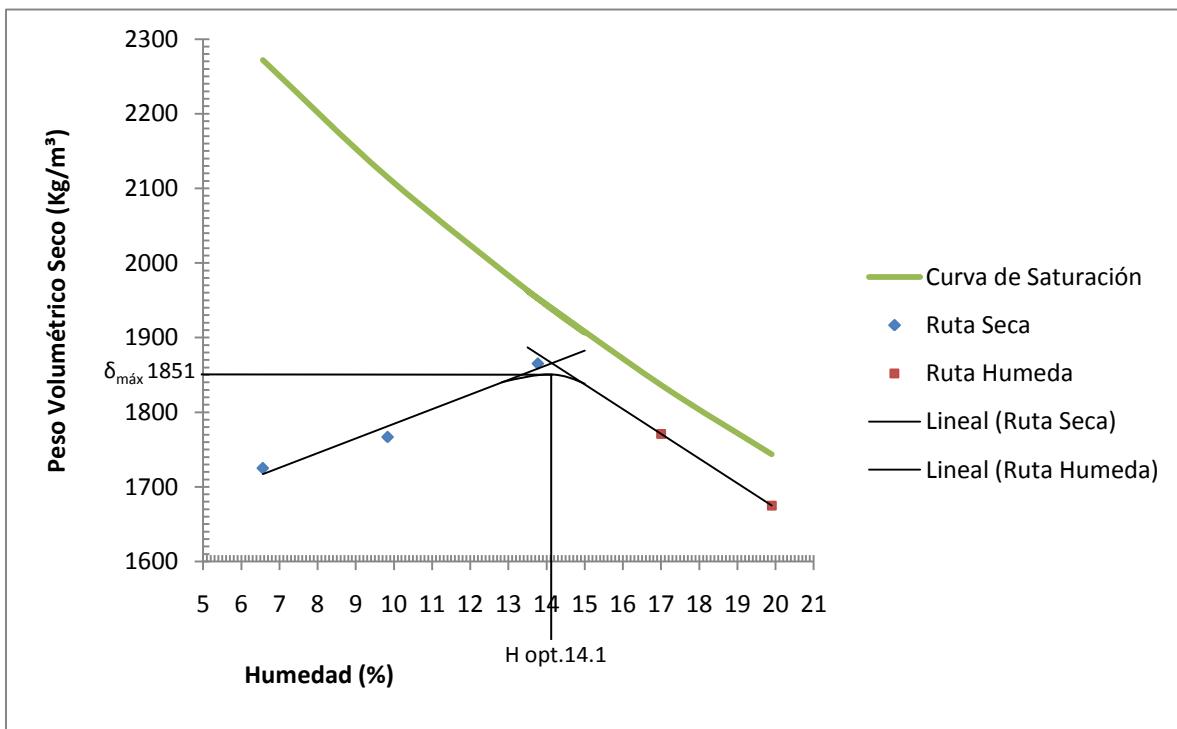
Molde N°: 20 Peso: 4.243 Kg. Volumen : 0.94 Lts Diámetro: 10.16 cm
 Peso del Martillo: 5.5 Lbs Caída: 12" Golpes por capa: 25 N° de Capas: 3

Compactación de la Muestra

Peso del Material + Molde (Kg)	5.971	6.067	6.238	6.190	6.131
Peso del Molde (Kg)	4.243	4.243	4.243	4.243	4.243
Peso del Material en el Molde (Kg)	1.728	1.824	1.995	1.947	1.888
Peso Volumétrico Húmedo (Kg/m ³)	1,838.0	1,940.0	2,122.0	2,071.0	2,009.0
Peso Volumétrico Seco (Kg/m ³)	1,725.0	1,767.0	1,865.0	1,771.0	1,675.0

Contenido de Agua de la Muestra Compactada

Tara N°	17	330	93	136	117
Peso de la Tara + Material Húmedo (gr)	147.9	147.8	149.5	152.3	153.8
Peso de la Tara + Material Seco (gr)	141.1	137.7	135.7	135.4	134.1
Peso de Agua (gr)	6.8	10.1	13.8	16.9	19.7
Peso de Tara (gr)	37.5	35.0	35.5	35.7	35.2
Peso de Material Seco (gr)	103.6	102.7	100.2	99.7	98.9
Contenido de Humedad (%)	6.6	9.8	13.8	17.0	19.9



Gráfica VI.3 Líneas de Tendencia para obtener $\delta_{m\acute{a}x.}$ y $H_{opt.}$

6.4.2 Proctor Modificado

Ensayo N°1

Prueba de Compactación Proctor Modificado

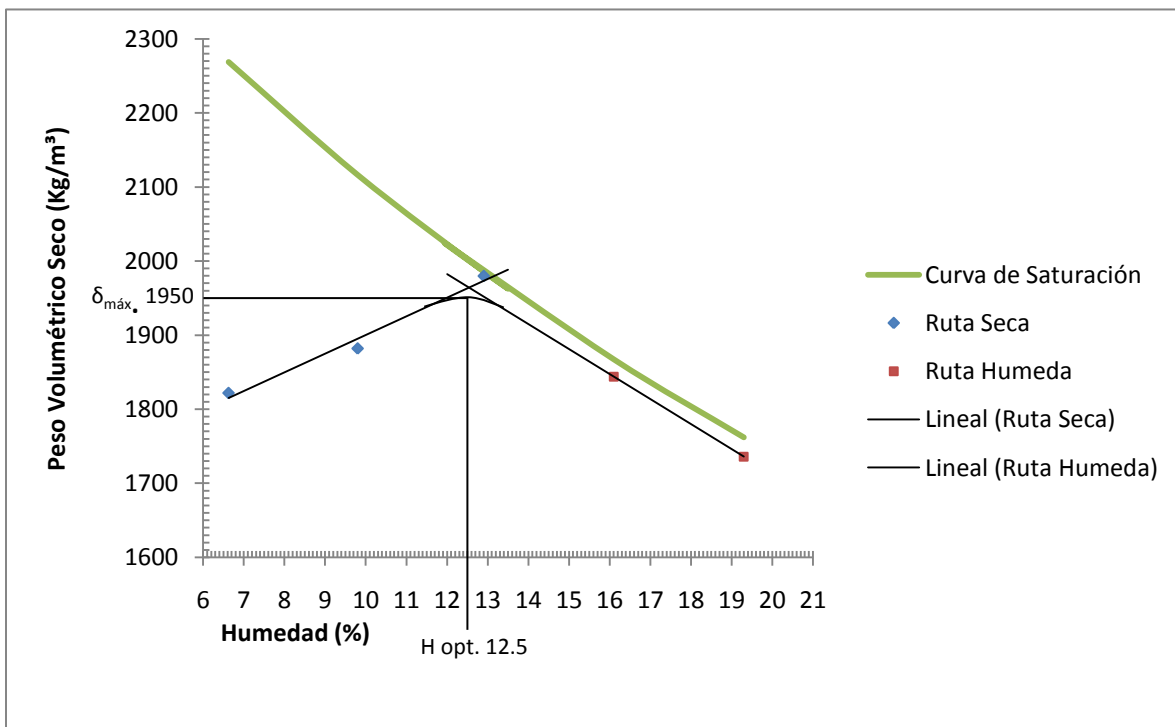
Molde N°: 20 Peso: 4.243 Kg Volumen: 0.94 Lts Diámetro: 10.16 cm
 Peso del Martillo: 11 Lbs Caída: 18" Golpes por capa: 25 N° de Capas: 5

Compactación de la Muestra

Peso del Material + Molde (Kg)	6.069	6.185	6.344	6.255	6.190
Peso del Molde (Kg)	4.243	4.243	4.243	4.243	4.243
Peso del Material en el Molde (Kg)	1.826	1.942	2.101	2.012	1.947
Peso Volumétrico Húmedo (Kg/m ³)	1,943.0	2,066.0	2,235.0	2,140.0	2,071.0
Peso Volumétrico Seco (Kg/m ³)	1,822.0	1,882.0	1,980.0	1,844.0	1,736.0

Contenido de Agua de la Muestra Compactada

Tara N°	24	117	165	717	150
Peso de la Tara + Material Húmedo (gr)	145.3	147.7	146.1	149.7	144.3
Peso de la Tara + Material Seco (gr)	138.6	137.7	133.6	133.7	127.0
Peso de Agua (gr)	6.7	10.0	12.5	16.0	17.3
Peso de Tara (gr)	37.5	35.2	36.6	34.2	37.3
Peso de Material Seco (gr)	101.1	102.5	97.0	99.5	89.7
Contenido de Humedad (%)	6.6	9.8	12.9	16.1	19.3



Gráfica VI.4 Líneas de Tendencia para obtener $\delta_{máx.}$ y $H_{opt.}$

Ensaye N°2

Prueba de Compactación Proctor Modificado

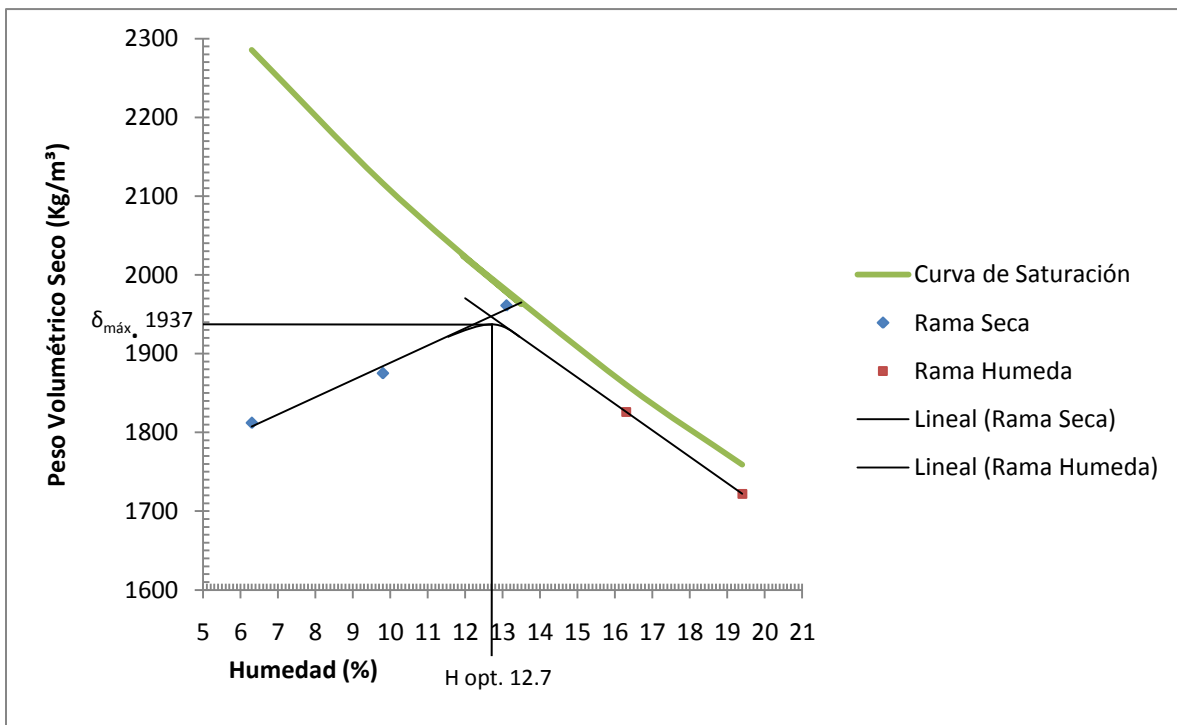
Molde N°: 20 Peso: 4.243 Kg Volumen: 0.94 Lts Diámetro: 10.16 cm
 Peso del Martillo: 11 Lbs Caída: 18" Golpes por capa: 25 N° de Capas: 5

Compactación de la Muestra

Peso del Material + Molde (Kg)	6.053	6.178	6.327	6.240	6.175
Peso del Molde (Kg)	4.243	4.243	4.243	4.243	4.243
Peso del Material en el Molde (Kg)	1.810	1.935	2.084	1.997	1.932
Peso Volumétrico Húmedo (Kg/m ³)	1,926.0	2,059.0	2,217.0	2,124.0	2,055.0
Peso Volumétrico Seco (Kg/m ³)	1,812.0	1,875.0	1,961.0	1,826.0	1,722.0

Contenido de Agua de la Muestra Compactada

Tara N°	23	717	839	116	150
Peso de la Tara + Material Húmedo (gr)	155.4	147.4	156.0	158.1	153.2
Peso de la Tara + Material Seco (gr)	148.1	137.3	142.1	140.9	134.4
Peso de Agua (gr)	7.3	10.1	13.9	17.2	18.8
Peso de Tara (gr)	31.8	34.2	35.7	35.7	37.3
Peso de Material Seco (gr)	116.3	103.1	106.4	105.2	97.1
Contenido de Humedad (%)	6.3	9.8	13.1	16.3	19.4



Gráfica VI.5 Líneas de Tendencias para obtener $\delta_{máx.}$ y $H_{opt.}$

Tabla VI.3 Resultados Obtenidos de Pruebas de Compactación.**Proctor Estándar**

Ensaye N°	% H Optimo	Peso Volumétrico Seco Máximo (Kg/m³)
1	14.5	1,850.0
2	14.1	1,851.0
Promedio	14.3	1,851.0

Proctor Modificado

Ensaye N°	% H Optimo	Peso Volumétrico Seco Máximo (Kg/m³)
1	12.5	1,950.0
2	12.7	1,937.0
Promedio	12.6	1,944.0

Tabla VI.4 Propiedades Volumétricas y Gravimétricas del Material Selecto Compactado.

Descripción	<i>n</i> (%)	<i>e</i>	<i>S_r</i> (%)
Proctor Estándar	31	0.45	85
Proctor Modificado	28	0.38	89

6.5 Relación de Carga California (CBR)

Prueba de CBR saturado (Estándar)

P.V.S. Máximo (Kg/m ³)	1,851.0	Humedad Óptima (%)	14.3
Peso del Martillo (Lbs)	5.5	Numero de Capas	3
Altura de Caída (Plg)	12	Sobrecarga (Lbs)	15
Altura del Espécimen (cm)	12.7	Volumen del Espécimen (Lts)	2.315

Grado de Compactación

Molde (Nº)	17	37	35
Nº de golpes por Capa	16	36	71
Peso del Material Húmedo + Molde (Kg)	11.486	11.772	12.015
Peso del Molde (Kg)	7.085	7.140	7.225
Peso del Material Húmedo (Kg)	4.401	4.632	4.790
P.V.H. (Kg/m ³)	1,901.0	2,001.0	2,069.0
Humedad (%)	11.4	13.1	12.1
P.V.S. (Kg/m ³)	1,707.0	1,769.0	1,846.0
% de compact. Reproducido	92	96	100

Resistencia a la Penetración

<i>Penetración Sometida (Plg)</i>	<i>Deformación</i>	<i>Carga (Kg)</i>	<i>Deformación</i>	<i>Carga (Kg)</i>	<i>Deformación</i>	<i>Carga (Kg)</i>
0,025	10	46.0	15	70.0	19	88.0
0,050	21	97.0	29	135.0	40	186.0
0,075	35	162.0	48	223.0	74	343.0
0,100 (1360,85 Kg)	50	232.0	78	362.0	103	478.0
0,150	95	441.0	128	594.0	161	747.0
0,200 (2041,28 Kg)	126	585.0	168	780.0	220	1,021.0
0,300	185	859.0	226	1,049.0	320	1,485.0
C.B.R. (Corregido)						

Hinchamiento

Lectura Final (mm)	0.92	0.91	0.90
Lectura Inicial (mm)	0.90	0.90	0.90
Diferencia de Lecturas (mm)	0.02	0.01	0.00
Hinchamiento (%)	0.02	0.01	0.00
Tiempo en Saturación (Hr)	96	96	96

Determinación de la Humedad (Estándar)

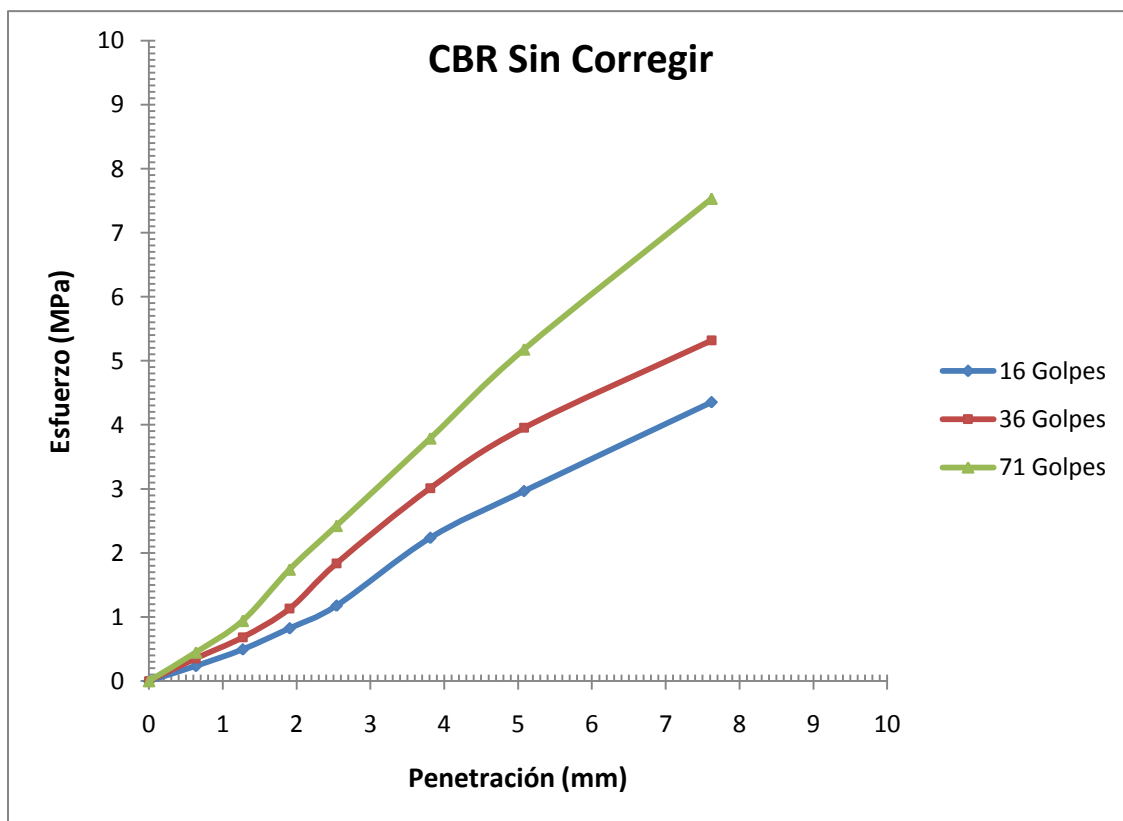
<i>Ensaye N°</i>	<i>1(16 golpes)</i>	
Recipiente N°	191	150
Peso Húmedo + Recipiente (gr)	142.2	147.7
Peso Seco + Recipiente (gr)	131.0	136.5
Agua (gr)	11.2	11.2
Peso Seco + Recipiente (gr)	131.0	136.5
Peso del Recipiente (gr)	33.2	37.3
Peso Seco - Recipiente (gr)	97.8	99.2
Contenido de Humedad (%)	11.5	11.3
Promedio de Humedades (%)	11.4	

<i>Ensaye N°</i>	<i>2(36 golpes)</i>	
Recipiente N°	A-31	O-8
Peso Húmedo + Recipiente (gr)	200.4	190.0
Peso Seco + Recipiente (gr)	183.4	172.3
Agua (gr)	17.0	17.7
Peso Seco + Recipiente (gr)	183.4	172.3
Peso del Recipiente (gr)	50.6	39.5
Peso Seco - Recipiente (gr)	132.8	132.8
Contenido de Humedad (%)	12.8	13.3
Promedio de Humedades (%)	13.1	

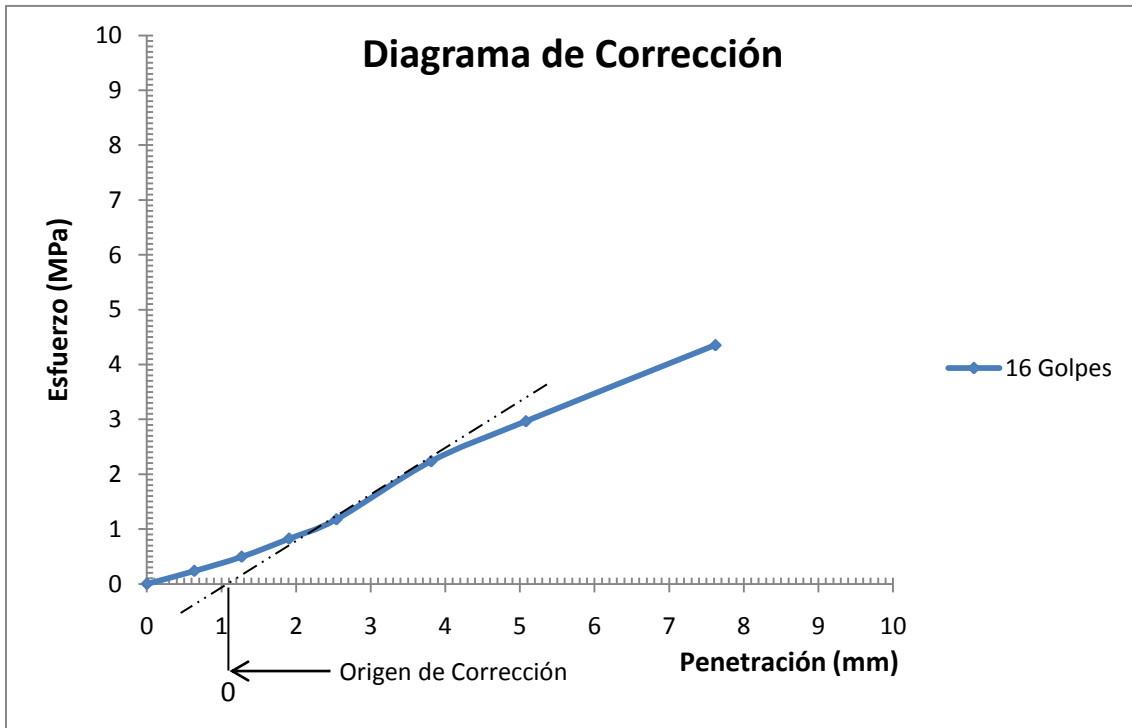
<i>Ensaye N°</i>	<i>3(71 golpes)</i>	
Recipiente N°	B-33	C-18
Peso Húmedo + Recipiente (gr)	202.4	180.8
Peso Seco + Recipiente (gr)	186.0	165.4
Agua (gr)	16.4	15.4
Peso Seco + Recipiente (gr)	186.0	165.4
Peso del Recipiente (gr)	46.8	41.5
Peso Seco - Recipiente (gr)	139.2	123.9
Contenido de Humedad (%)	11.8	12.4
Promedio de Humedades (%)	12.1	

Tabla VI.5 Valores de Resistencia a la Penetración (Datos sin Corregir).

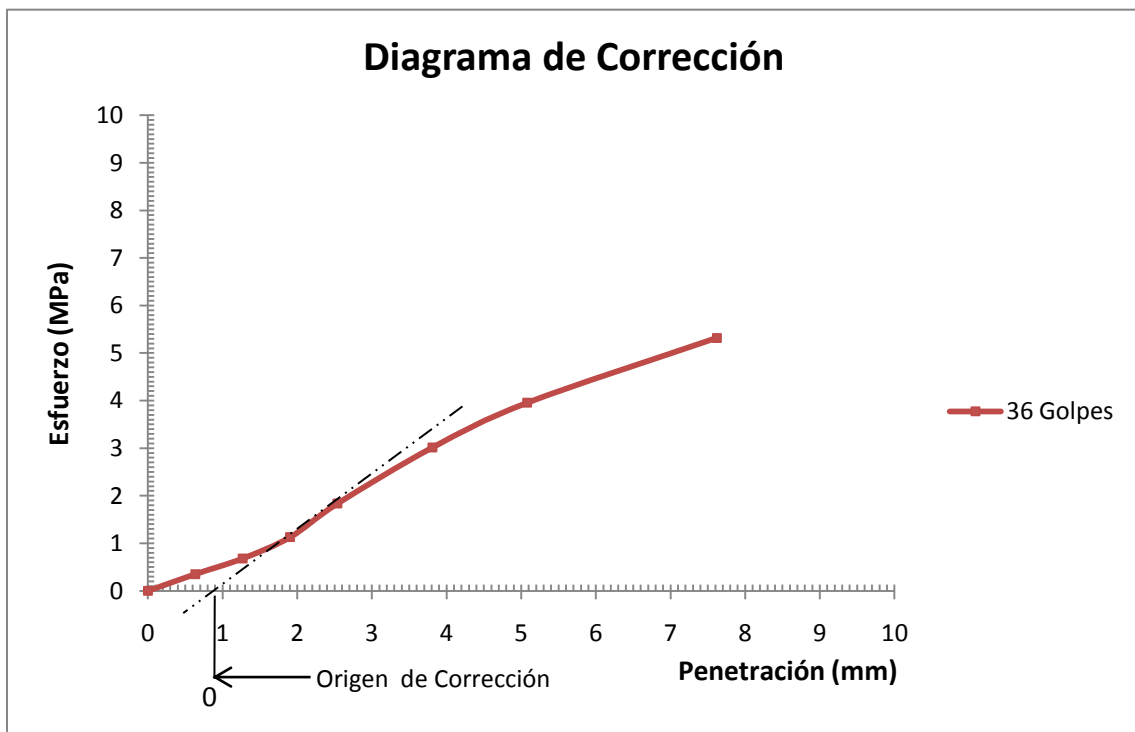
Penetración		16 Golpes (MPa)	36 Golpes (MPa)	71 Golpes (MPa)
Plg	mm			
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.025	0.6	0.2	0.4	0.4
0.05	1.3	0.5	0.7	0.9
0.075	1.9	0.8	1.1	1.7
0.1	2.5	1.2	1.8	2.4
0.15	3.8	2.2	3.0	3.8
0.2	5.1	3.0	4.0	5.2
0.3	7.6	4.4	5.3	7.5



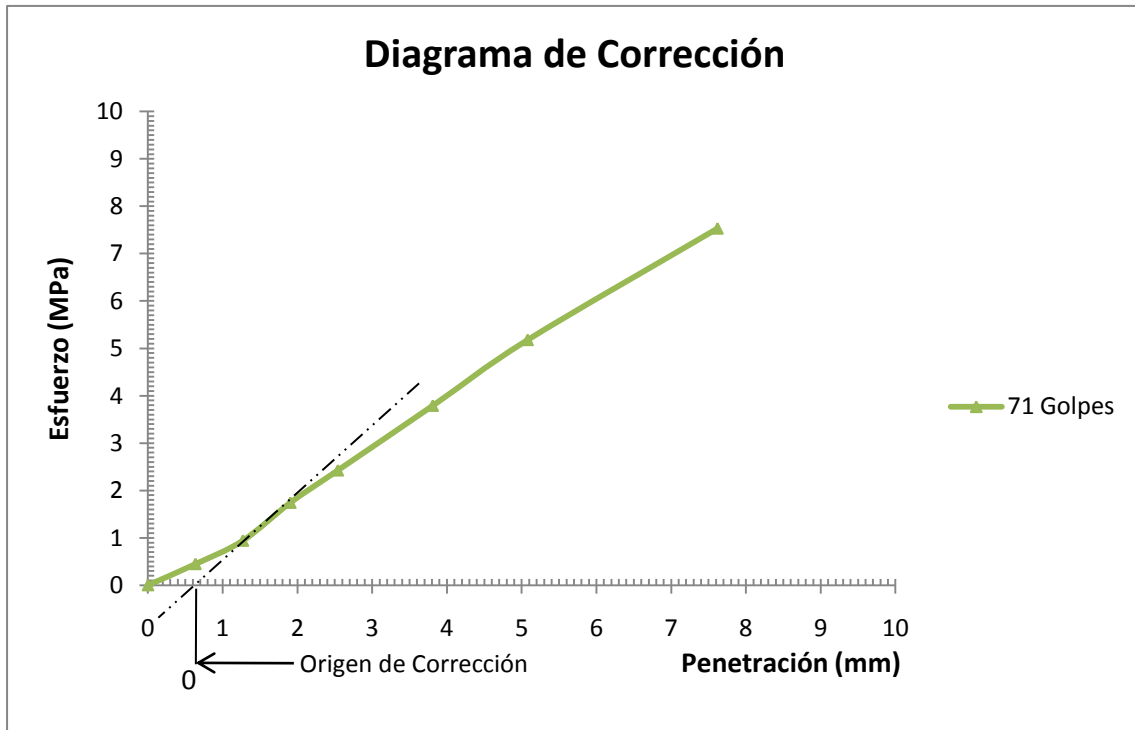
Gráfica VI.6 Comportamiento de Esfuerzo Vs Deformación a distintos números de Golpes.



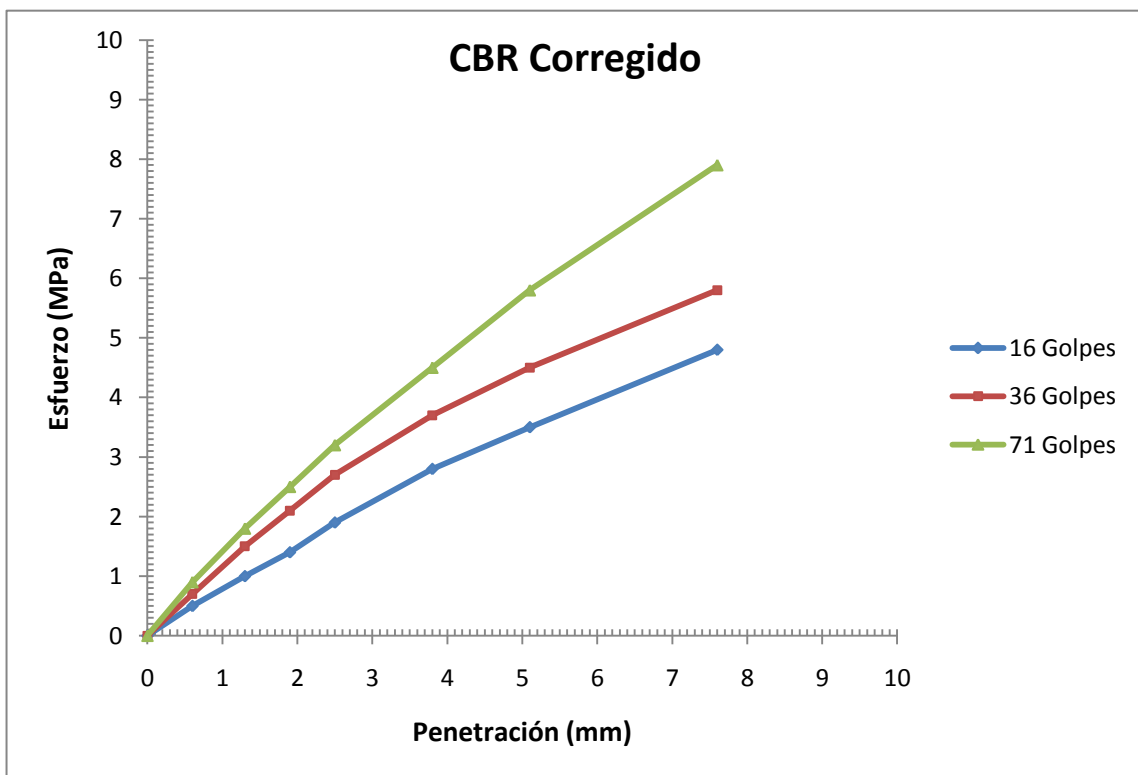
Gráfica VI.7 Corrección del Comportamiento de Esfuerzo Vs Deformación a 16 Golpes.



Gráfica VI.8 Corrección del Comportamiento de Esfuerzo Vs Deformación a 36 Golpes.



Gráfica VI.9 Corrección del Comportamiento de Esfuerzo Vs Deformación a 71 Golpes.

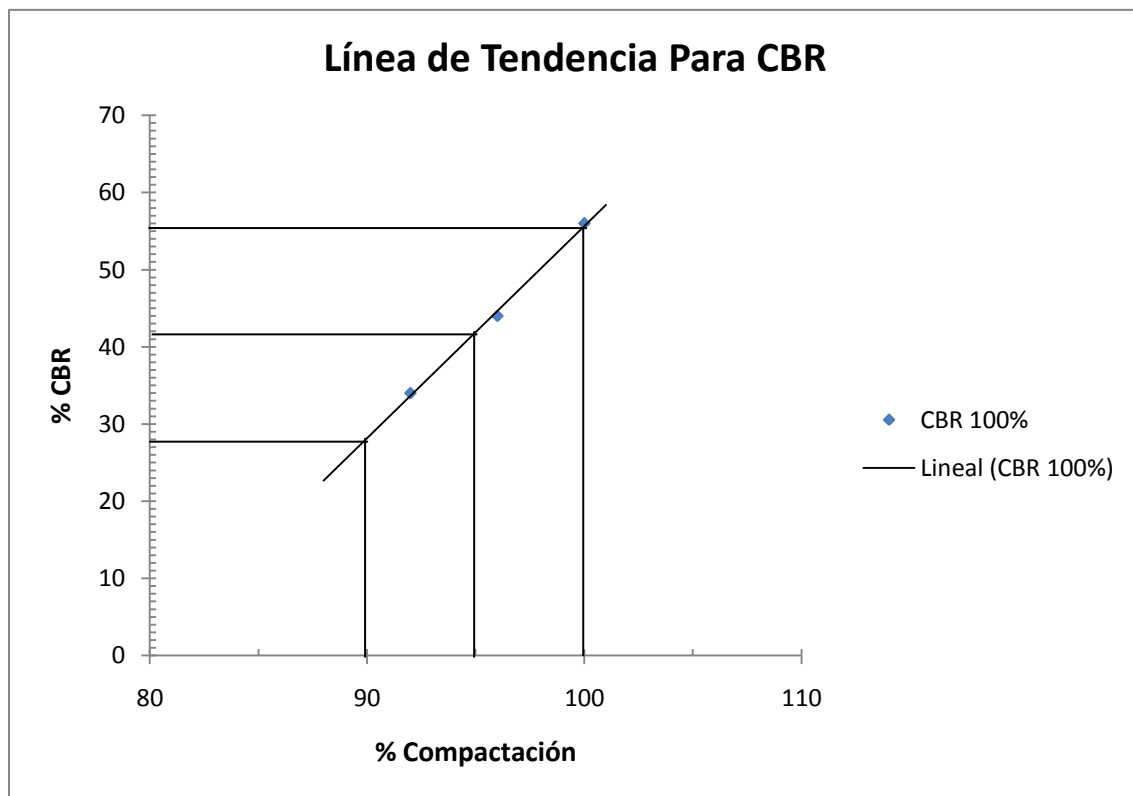


Gráfica VI.10 Comportamiento de Esfuerzo Vs Deformación Corregido.

Tabla VI.6 Resultados Prueba de CBR Banco “Sandino”.
CBR Estándar

Resistencia a la Penetración (Datos Corregido)

Penetración		Esfuerzo		
Plg.	mm	16 Golpes (MPa)	36 Golpes (MPa)	71 Golpes (MPa)
0.0	0.0	0	0	0
0.025	0.6	0.5	0.7	0.9
0.05	1.3	1.0	1.5	1.8
0.075	1.9	1.4	2.1	2.5
0.1	2.5	1.9	2.7	3.2
0.15	3.8	2.8	3.7	4.5
0.2	5.1	3.5	4.5	5.8
0.3	7.6	4.8	5.8	7.9
% de CBR Obtenidos				
0.2	5.1	3.5	4.5	5.8
Carga patrón (MPa)		10.3	10.3	10.3
% de CBR		34	44	56
% de Compactación		92	96	100



Gráfica VI.11 Obtención de Valores de CBR para distintos % de Compactación.

Prueba de CBR saturado (Modificado)

P.V.S. Máximo (Kg/m ³)	1,944.0	Humedad Óptima (%)	12.6
Peso del Martillo (Lb)	11	Numero de Capas	5
Altura de Caída (Plg)	18	Sobrecarga (Lbs)	10
Altura del Espécimen (cm)	12.7	Volumen del Espécimen (Lts)	2.315

Grado de Compactación

Molde (Nº)	25	0-7	0-2
Nº de golpes por Capa	16	36	71
Peso del Material Húmedo + Molde (Kg)	11.709	11.982	12.252
Peso del Molde (Kg)	7.110	7.150	7.250
Peso del Material Húmedo (Kg)	4.599	4.832	5.002
P.V.H. (Kg/m ³)	1,987.0	2,087.0	2,161.0
Humedad (%)	12.9	12.7	12.7
P.V.S. (Kg/m ³)	1,760.0	1,852.0	1,917.0
% de compact. Reproducido	91	95	99

Resistencia a la Penetración

<i>Penetración Sometida (Plg)</i>	<i>Deformación</i>	<i>Carga (Kg)</i>	<i>Deformación</i>	<i>Carga (Kg)</i>	<i>Deformación</i>	<i>Carga (Kg)</i>
0,025	20	93.0	29	135.0	43	200.0
0,050	45	209.0	68	316.0	95	441.0
0,075	95	441.0	113	525.0	163	757.0
0,100 (1360,85 Kg)	139	645.0	196	910.0	310	1,439.0
0,150	231	1,072.0	283	1,314.0	415	1,926.0
0,200 (2041,28 Kg)	300	1,393.0	371	1,722.0	535	2,483.0
0,300	398	1,847.0	475	2,205.0	598	2,776.0
C.B.R. (Corregido)						

Hinchamiento

Lectura Final (mm)	0.91	0.91	0.90
Lectura Inicial (mm)	0.90	0.90	0.90
Diferencia de Lecturas (mm)	0.01	0.01	0.00
Hinchamiento (%)	0.01	0.01	0.00
Tiempo en Saturación (Hr)	96	96	96

Determinación de la Humedad (Modificado)

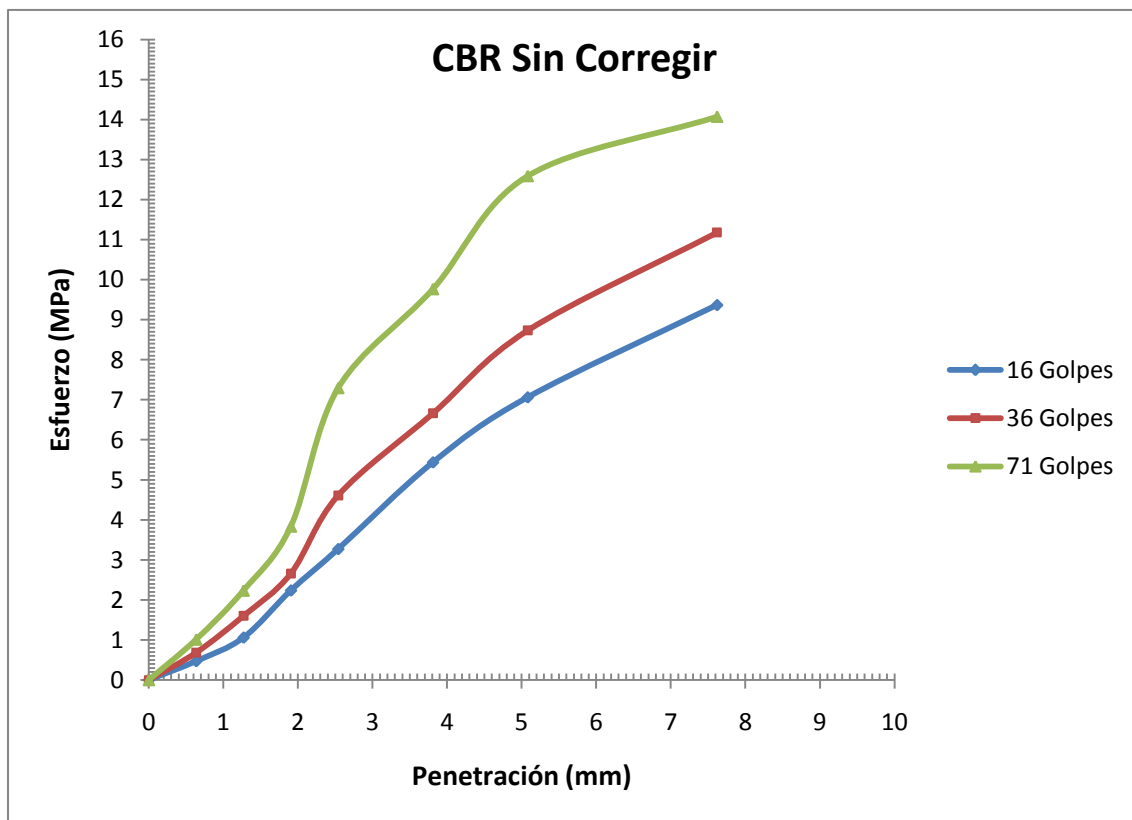
<i>Ensaye N°</i>	<i>1(16golpes)</i>	
Recipiente N°	401	23
Peso Húmedo + Recipiente (gr)	195.5	197.6
Peso Seco + Recipiente (gr)	177.4	178.6
Agua (gr)	18.1	19.0
Peso Seco + Recipiente (gr)	177.4	178.6
Peso del Recipiente (gr)	35.7	31.8
Peso Seco - Recipiente (gr)	141.7	146.8
Contenido de Humedad (%)	12.8	12.9
Promedio de Humedades (%)	12.9	

<i>Ensaye N°</i>	<i>2(36 golpes)</i>	
Recipiente N°	136	839
Peso Húmedo + Recipiente (gr)	185.8	184.3
Peso Seco + Recipiente (gr)	169.1	167.3
Agua (gr)	16.7	17.0
Peso Seco + Recipiente (gr)	169.1	167.3
Peso del Recipiente (gr)	35.7	35.7
Peso Seco - Recipiente (gr)	133.4	131.6
Contenido de Humedad (%)	12.5	12.9
Promedio de Humedades (%)	12.7	

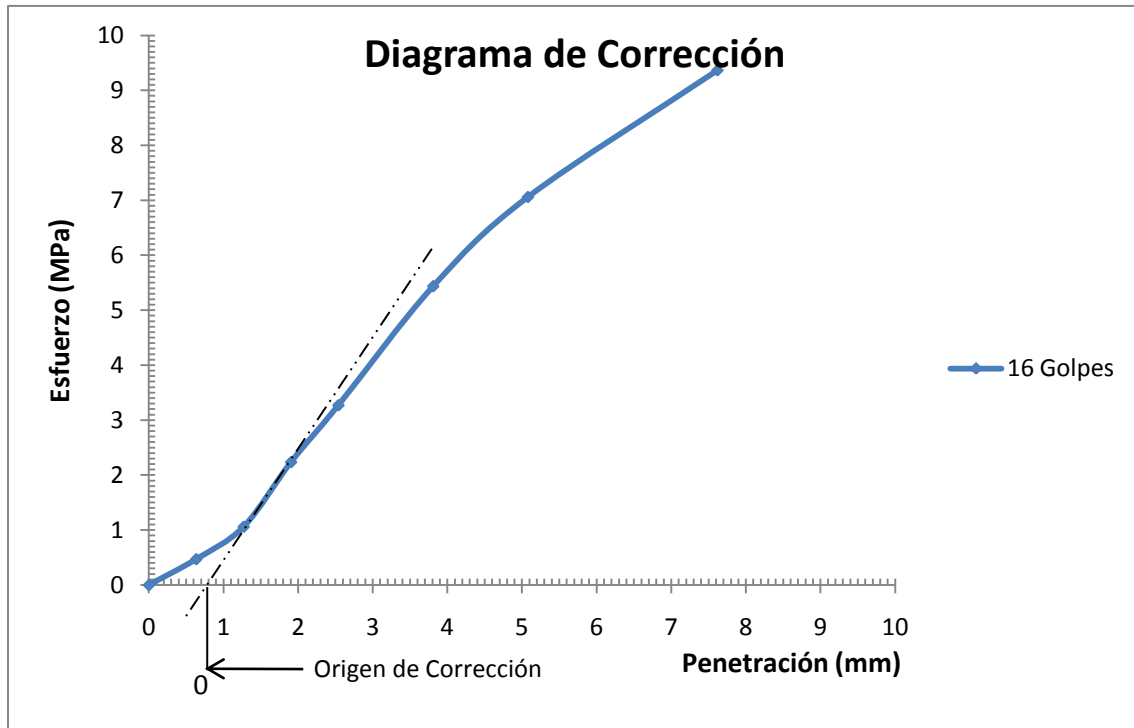
<i>Ensaye N°</i>	<i>3(71 golpes)</i>	
Recipiente N°	741	164
Peso Húmedo + Recipiente (gr)	178.7	172.8
Peso Seco + Recipiente (gr)	163.1	157.3
Agua (gr)	15.6	15.5
Peso Seco + Recipiente (gr)	163.1	157.3
Peso del Recipiente (gr)	37.5	36.6
Peso Seco - Recipiente (gr)	125.6	120.7
Contenido de Humedad (%)	12.4	12.8
Promedio de Humedades (%)	12.6	

Tabla VI.7 Valores de Resistencia a la Penetración (Datos sin Corregir).

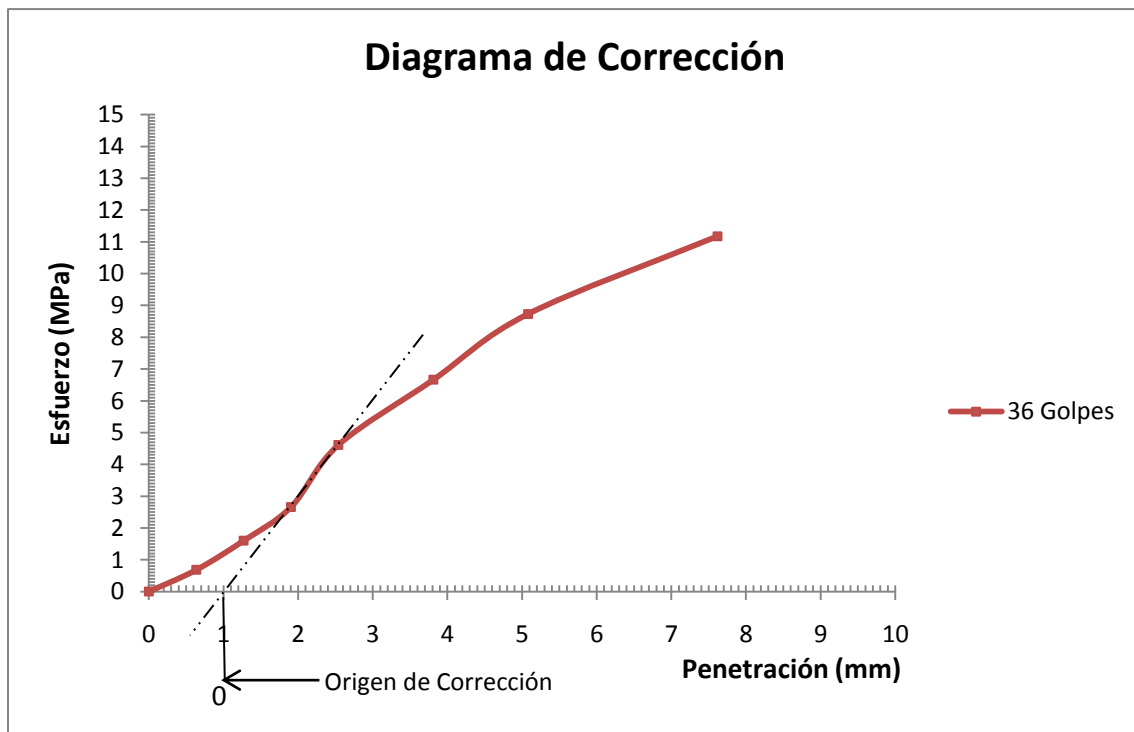
Penetración		Esfuerzo		
Plg	mm	16 Golpes (MPa)	36 Golpes (MPa)	71 Golpes (MPa)
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.025	0.6	0.5	0.7	1.0
0.05	1.3	1.1	1.6	2.2
0.075	1.9	2.2	2.7	3.8
0.1	2.5	3.3	4.6	7.3
0.15	3.8	5.4	6.7	9.8
0.2	5.1	7.1	8.7	12.6
0.3	7.6	9.4	11.2	14.1



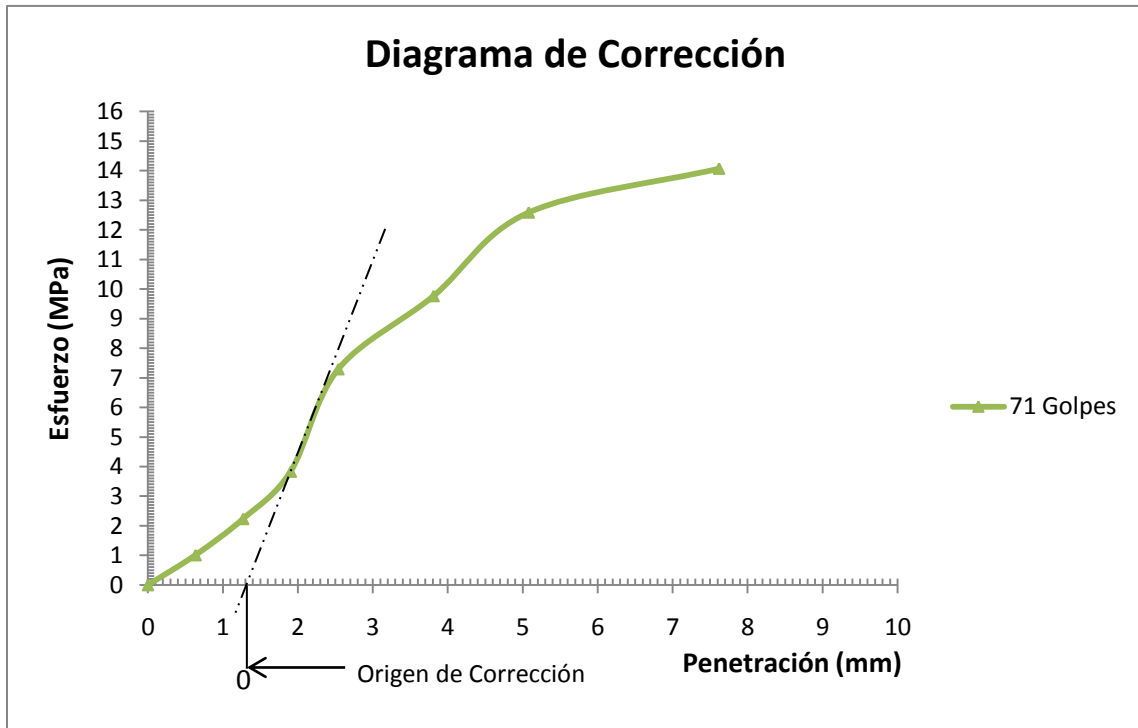
Gráfica VI.12 Comportamiento de Esfuerzo Vs Deformación a distintos números de Golpes.



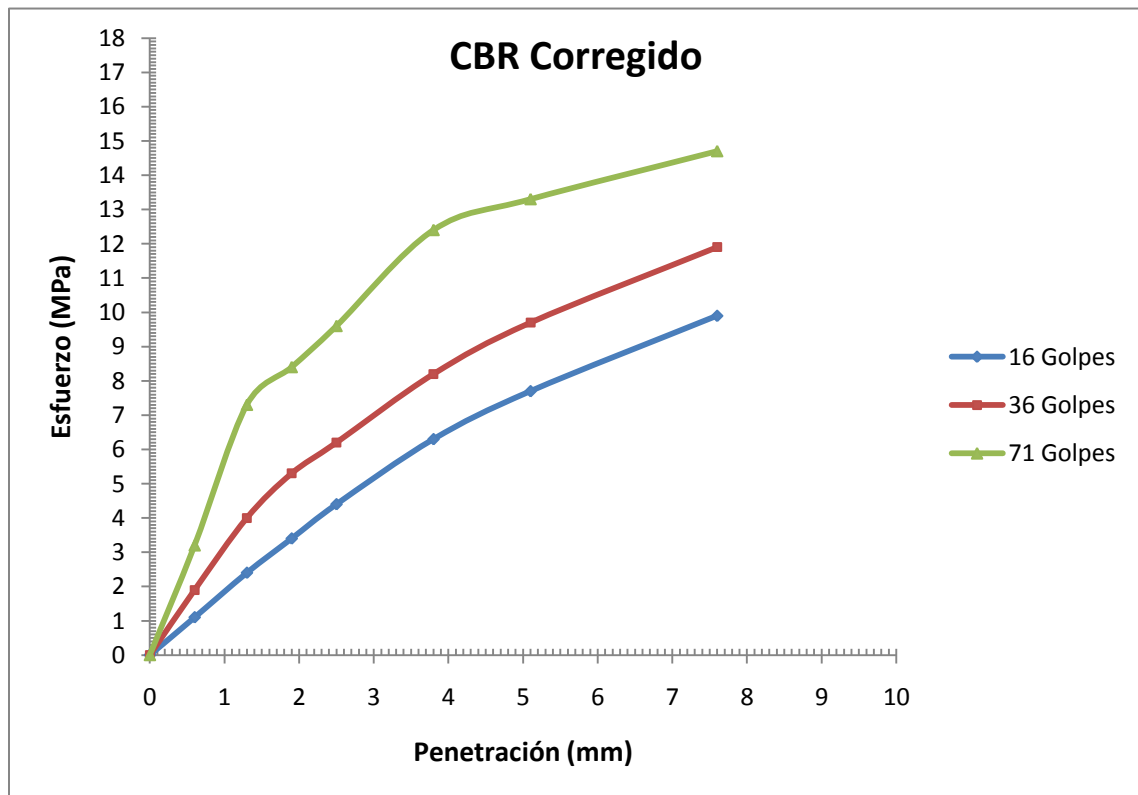
Gráfica VI.13 Corrección del Comportamiento de Esfuerzo Vs Deformación a 16 Golpes.



Gráfica VI.14 Corrección del Comportamiento de Esfuerzo Vs Deformación a 36 Golpes.



Gráfica VI.15 Corrección del Comportamiento de Esfuerzo Vs Deformación a 71 Golpes.

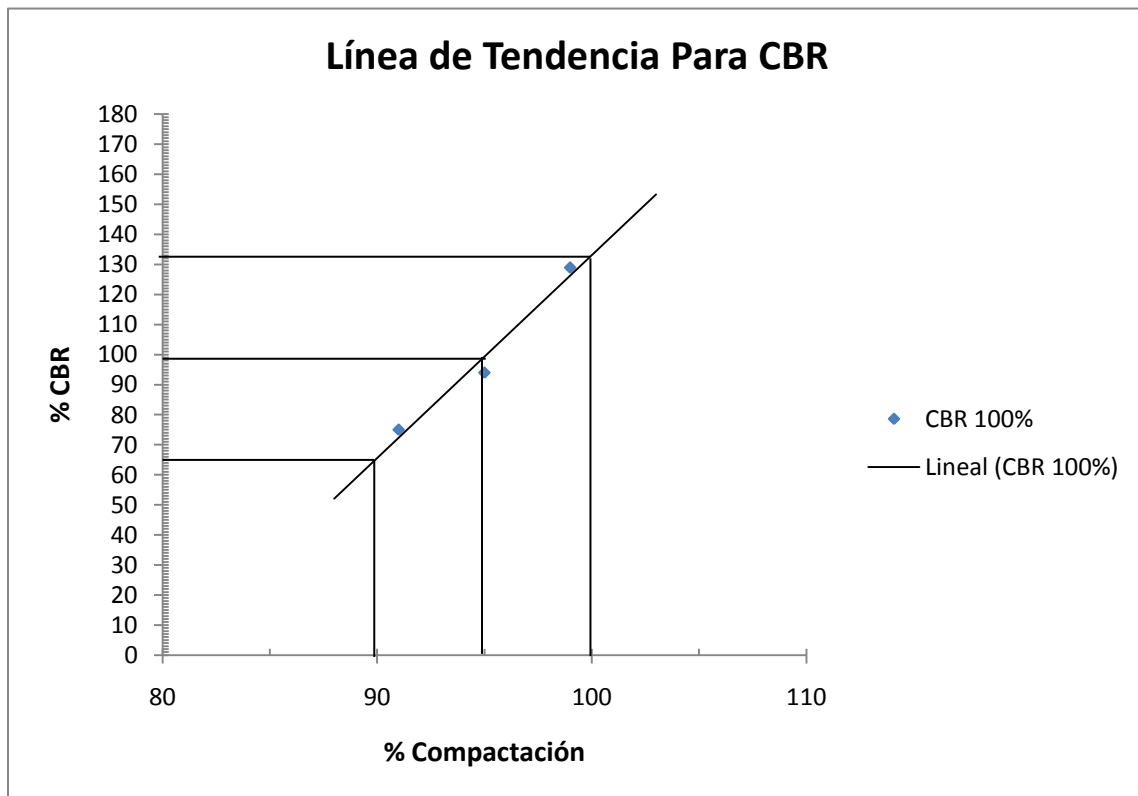


Gráfica VI.16 Comportamiento de Esfuerzo Vs Deformación Corregido.

Tabla VI.8 Resultados Prueba de CBR.
CBR Estándar

Resistencia a la Penetración (Datos Corregido)

Penetración		Esfuerzo		
Plg.	mm	16 Golpes (MPa)	36 Golpes (MPa)	71 Golpes (MPa)
0.0	0.0	0	0	0
0.025	0.6	1.1	1.9	3.2
0.05	1.3	2.4	4.0	7.3
0.075	1.9	3.4	5.3	8.4
0.1	2.5	4.4	6.2	9.6
0.15	3.8	6.3	8.2	12.4
0.2	5.1	7.7	9.7	13.3
0.3	7.6	9.9	11.9	14.7
% de CBR Obtenidos				
0.2	5.1	7.7	9.7	13.3
Carga patrón (MPa)		10.3	10.3	10.3
% de CBR		75	94	129
% de Compactación		91	95	99



Gráfica VI.17 Obtención de Valores de CBR para distintos % de Compactación.

Tabla VI.9 Valores de C.B.R. para los diferentes Porcentajes de Compactación.**Banco “Sandino”**

C.B.R. Estándar	
% de Compactación	% de CBR
90	28
95	42
100	56
C.B.R. Modificado	
% de Compactación	% de CBR
90	66
95	99
100	133

**Tabla VI.10 Informe de Ensayes de Suelos
Banco “Sandino”**

Granulometría	
Tamaño Máximo	Nº 4
Relación de Finos	0.42
Limites de Atterberg	
Límite Líquido	-
Índice de Plasticidad	NP
Clasificación	
Clasificación H.R.B	A-1-b(0)
Clasificación S.U.C.S	SM
Pruebas de Compactación	
Proctor Estándar	
Peso Volumétrico Seco Máximo (Kg/m ³)	1,851.0
Humedad Óptima (%)	14.3
Enjuntamiento	0.92
Porosidad (%)	31
Relación de Vacíos	0.45
Grado de Saturación (%)	85
Proctor Modificado	
Peso Volumétrico Seco Máximo (Kg/m ³)	1,944.0
Humedad Óptima (%)	12.6
Enjuntamiento	0.88
Porosidad (%)	28
Relación de Vacíos	0.38
Grado de Saturación (%)	89
C.B.R. Estándar	
% de Compactación	% de CBR
90	28
95	42
100	56
C.B.R. Modificado	
% de Compactación	% de CBR
90	66
95	99
100	133
Pesos Volumétricos	
Peso Volumétrico Seco Suelto (Kg/m ³)	1,568.0
Peso Volumétrico Seco Varillado (Kg/m ³)	1,701.0
Abundamiento	1.08
Gravedad Específica	
2.68	

Tabla VI.11 Análisis de Resultados para Uso Ingenieril conforme a Normativas y Especificaciones

Banco	Normativa de referencia	Especificaciones		Resultados Obtenidos del Banco		Observación
Banco Sandino	Clasificación AASHTO	Explanada y Subrasante	Tamiz % Q.P. No. 40 = 50 máx. No.200 = 25 máx.	Tamiz % Q.P. No. 40 = 38 No.200 = 16	Se clasifica como A-1-b(0), presentando una calidad excelente para este uso en particular y es altamente estable bajo condiciones críticas, debido a que su índice de grupo pone de manifiesto la ausencia de material arcilloso.	
	NIC - 2000	Sub-base	Tamiz % Q.P. 1 ½ " = 100 No. 4 = 35 - 65 No. 200 = 0 - 10	Tamiz % Q.P. 1 ½ " = 100 No. 4 = 88 No. 200 = 16	El material no cumple con la normativa granulométrica para dicho uso, sin embargo, satisface las normativas bajo la perspectiva de plasticidad y resistencia mecánica. Alcanzando valores de CBR > 50 % para un porcentaje de compactación al 100 % estándar y ≥ 90 % modificado.	
			L.L. = 25 máx. I.P. = 6 máx. C.B.R. = 50 min.	L.L. = 0 I.P. = 0 C.B.R. = 56 - 133		
	Principios de Diseño de Pavimentos, Jhon Wiley & Sons, 1959	Sub-base	C.B.R. = 20 - 50 SUCS = GM, GC, GW, GP, SM, SP. AASHTO = A-1-b, A-2-5, A-3, A-2-6	C.B.R. = 28 - 56 SUCS = SM AASHTO = A-1-b(0)	Presenta una buena calidad, cumpliendo la normativa de clasificación y resistencia mecánica, manteniendo un % de compactación ≥ 90 % estándar e = 90 % modificado.	
		Base	C.B.R. = > 50 SUCS = GM, GC, GW, GP, SM, SP. AASHTO = A-1-a, A-1-b, A-2-5, A-3, A-2-4, A-2-6	C.B.R. = 56 - 133 SUCS = SM AASHTO = A-1-b(0)	Presenta una buena calidad, cumpliendo la normativa de clasificación y resistencia mecánica, manteniendo un % de compactación al 100 % estándar y ≥ 90 % modificado.	
	ASTM D-1241	Base	Ver tabla II.4 Pag.36	Tamiz% Q.P 1 " = 100 3/8 " = 95 No. 4 = 88	Tamiz% Q.P No. 10 = 75 No. 40 = 38 No. 200 = 16	Según rangos granulométricos este material no cumple, sin embargo, bajo la perspectiva de plasticidad y resistencia mecánica se cumple con la normativa, manteniendo un % de compactación ≥ 95 % modificado, para alcanzar valores de CBR > 80 %.
L.L. = 0 I.P. = 0 C.B.R. = 99 - 133 PVSV = 1701 Kg/m3						
Laboratorios IMS	Revestimiento De Caminos	Tamiz % Q.P. 2" = 100 No. 4 = 40 - 60 No. 40 = 20 - 35 No. 200 = 8 - 15	Tamiz % Q.P. 2" = 100 No. 4 = 88 No. 40 = 38 No. 200 = 16	Según rangos granulométricos y criterios de plasticidad este no puede ser utilizado para revestimientos, sin embargo cumple bajo perspectivas de resistencia mecánica manteniendo un porcentaje mínimo de compactación de 95 % estándar.		
L.L. = 40 máx. I.P. = 4 - 10 máx. C.B.R. = 30 min.		L.L. = 0 I.P. = 0 C.B.R. > 42				

CAPITULO VII:

Banco CERRO TALPETATE





El banco de nombre Cerro Talpetate, popularmente conocido entre los habitantes de la comarca Xiloá como cerro el Hormigón; se encuentra ubicado en el kilómetro 19 Carretera hacia Xiloá, y es un yacimiento muy valioso de escoria volcánica cuya variedad el hormigón de color rojo (mixto) y negro, es requerido como material de peso ligero para realizar rellenos sanitarios, revestimientos y mezclado con un buen material selecto es bastante utilizado en la construcción de base y sub-base en las carreteras Nicaragüenses.

La finca donde se ubica el banco posee una extensión de 201 manzanas, con un volumen total de material útil en explotación de 6, 880,009 m³. El encargado de atender las extracciones de material en el banco es el señor Leopoldo Chávez, este nos informó que el banco apertura su explotación desde la década de los 70 aunque con poca demanda con respecto a la de hoy en día. El costo del material por metro cubico es de 50 córdobas.

HORMIGON MIXTO



7.1.1 Análisis Granulométrico y Pesos Unitarios

Determinación de Composición Granulométrica y Pesos Volumétricos del Material Seco Suelto

Composición Granulométrica del material Retenido en la malla N° 4

Malla	PRP(gr)	% RP	% RA	% QP
2"	-	-	-	100
1½"	81.0	3	3	97
1"	182.0	6	9	91
¾"	179.0	5	14	86
⅜"	931.0	30	44	56
N° 4	1,083.0	35	79	21
Pasa N° 4	657.0	21	100	-
Suma	3,113.0	99	-	-

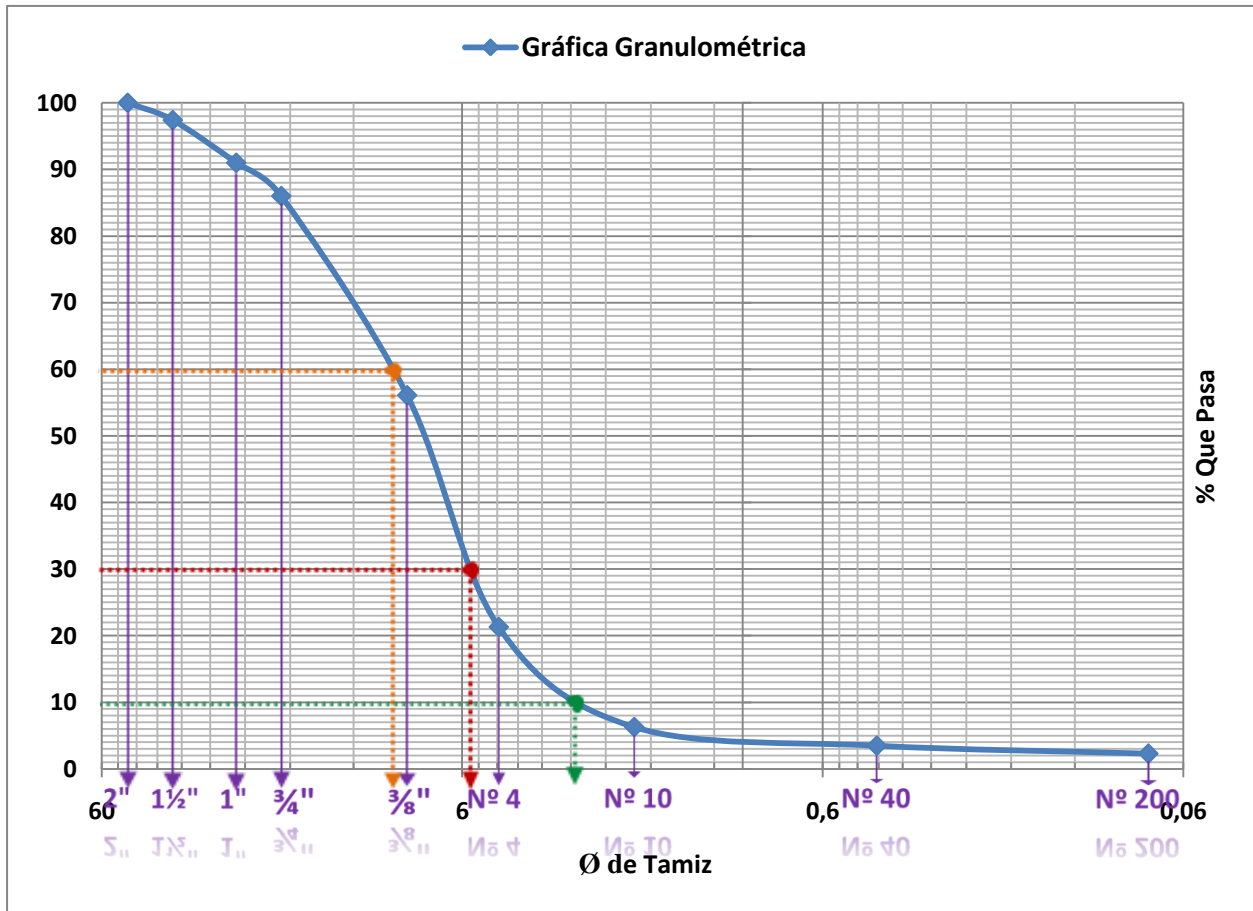
Determinación de Pesos	
PSS (gr)	2,842.0
PSV (gr)	3,109.0
Volumen (cm ³)	2,850.0
Peso Volumétrico (Kg/m ³)	
PVSS	997.0
PVSV	1,091.0

Composición Granulométrica del material que pasa la malla N° 4 (Lavado)

Malla	Peso Retenido Parcial (gr)		% Retenido Parcial		% RP (Promedio)	% RA	% QP
N° 10	91	76.9	15	15	15	94	6
N° 40	14.6	16.4	2	3	3	97	3
N° 200	7.1	6.2	1	1	1	98	2
Pasa N° 200	14.8	11	2	2	2	100	-
Suma	127.5	110.5	21	21	21	-	-

Material Lavado (gr)

Prueba No. 1	Peso Seco	128.3	Prueba No. 2	Peso Seco	110.8
	Peso Seco Lavado	120.5		Peso Seco Lavado	99.8
	Pasa N° 200	7.8		Pasa N° 200	11.0



Gráfica VII.1 Representación Granulométrica de los porcentajes que pasan por los tamices con aberturas de diámetros variados.

Tabla VII.1 Valores Obtenidos de Curva Granulométrica.

D₆₀	D₃₀	D₁₀
6.4	4.9	1.1
$C_u = 6.0$		$C_c = 3.0$
Grava bien Graduada ($C_u > 4$ y $1 \leq C_c \leq 3$)		

Tabla VII.2 Resultados Obtenidos de Ensaye Granulométrico.

Tamaño Máximo	3/4"
Peso Volumétrico Seco Suelto (PVSS)	997.0 Kg/m ³
Peso Volumétrico Seco Varillado (PVSV)	1,091.0 Kg/m ³

7.1.2 Gravedad Específica

Ensaye de Densidad Referida al Peso Seco (Gravedad Específica)

Determinación N°	1	2
Frasco N°	25	25
Peso del Frasco Lleno de Agua (P), (g)	673.7	673.7
Peso del Material Saturado y Superficialmente Seco (As), (g)	50	50
Total (P + As), (g)	723.7	723.7
Peso del Frasco con Agua y Material (W), (g)	702.0	701.7
Volumen Desalojado{(P + As) - W}, (g)	21.7	22.0
Densidad	2.30	2.27
Densidad Promedio	2.29	

Tabla VII.3 Informe de Ensayes de Suelos.

Banco “Cerro Talpetate” Hormigón Mixto

Granulometría	
Tamaño Máximo	¾”
Clasificación	
Clasificación H.R.B	A-1-a(0)
Clasificación S.U.C.S	GW
Pesos Volumétricos	
Peso Volumétrico Seco Suelto (Kg/m³)	997.0
Peso Volumétrico Seco Varillado (Kg/m³)	1,091.0
Abundamiento	1.09
Gravedad Específica	
2.29	

HORMIGON NEGRO



7.2.1 Análisis Granulométrico y Pesos Unitarios

Determinación de Composición Granulométrica y Pesos Volumétricos del Material Seco Suelto

Composición Granulométrica del material Retenido en la malla Nº 4

Malla	PRP(gr)	% RP	% RA	% QP
2"	-	-	-	100
1½"	443.0	15	15	85
1"	54.0	2	17	83
¾"	90.0	3	20	80
⅜"	536.0	18	38	62
Nº 4	1,094.0	37	75	25
Pasa Nº 4	720.0	25	100	-
Suma	2,937.0	100	-	-

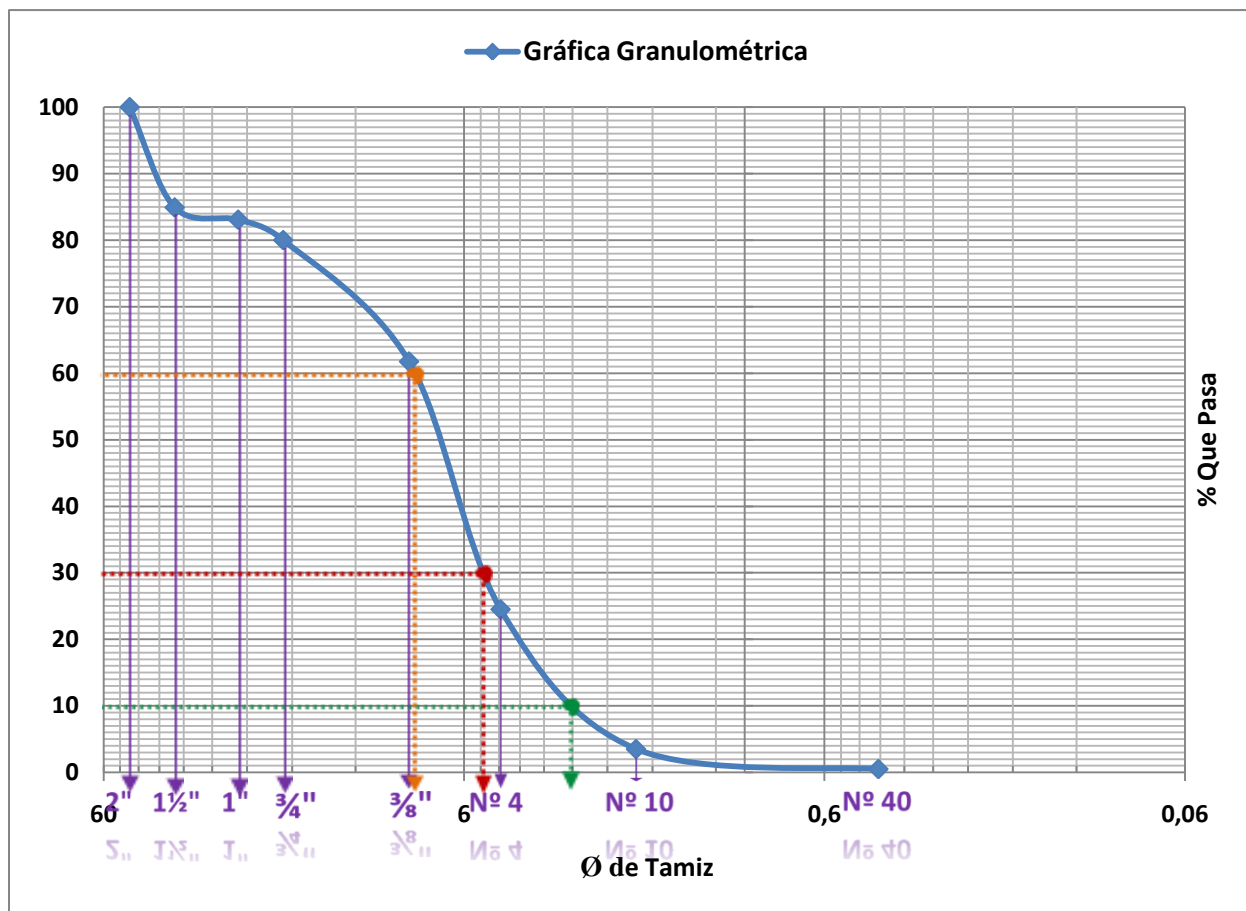
Determinación de Pesos	
PSS (gr)	2,620.0
PSV (gr)	2,913.0
Volumen (cm³)	2,850.0
Peso Volumétrico (Kg/m³)	
PVSS	919.0
PVSV	1,022.0

Composición Granulométrica del material que pasa la malla Nº 4 (Lavado)

Malla	Peso Retenido Parcial (gr)		% Retenido Parcial		% RP (Promedio)	% RA	% QP
Nº 10	88.7	90.9	22	21	21	96	4
Nº 40	8.5	1.9	2	3	3	99	1
Nº 200	0.0	0.0	0	0	0	99	-
Pasa Nº 200	3.0	2.3	1	1	1	100	-
Suma	100.2	108.1	25	25	25	-	-

Material Lavado (gr)

Prueba No. 1	Peso Seco	100.2	Prueba No. 2	Peso Seco	108.1
	Peso Seco Lavado	97.2		Peso Seco Lavado	105.8
	Pasa Nº 200	3.0		Pasa Nº 200	2.3



Gráfica VII.2 Representación Granulométrica de los porcentajes que pasan por los tamices con aberturas de diámetros variados.

Tabla VII.4 Valores Obtenidos de Curva Granulométrica.

D ₆₀	D ₃₀	D ₁₀
6.8	5.5	1
$C_u = 7.0$		$C_c = 4.0$
Grava mal Graduada ($C_u > 4$ y $1 \leq C_c \leq 3$)		

Tabla VII.5 Resultados Obtenidos de Ensaye Granulométrico.

Tamaño Máximo	2"
Peso Volumétrico Seco Suelto (PVSS)	919.0 Kg/m ³
Peso Volumétrico Seco Varillado (PVSV)	1,022.0 Kg/m ³

7.2.2 Gravedad Específica

Ensaye de Densidad Referida al Peso Seco (Gravedad Específica)

Determinación N°	1	2
Frasco N°	25	25
Peso del Frasco Lleno de Agua (P), (g)	673.7	673.7
Peso del Material Saturado y Superficialmente Seco (As), (g)	50.0	50.0
Total (P + As), (g)	723.7	723.7
Peso del Frasco con Agua y Material (W), (g)	702.0	701.7
Volumen Desalojado{(P + As) - W}, (g)	21.7	22.0
Densidad	2.30	2.27
Densidad Promedio	2.29	

Tabla VII.6 Informe de Ensayes de Suelos.

Banco “Cerro Talpetate” Hormigón Negro

Granulometría	
Tamaño Máximo	2”
Clasificación	
Clasificación H.R.B	A-1-a(0)
Clasificación S.U.C.S	GP
Pesos Volumétricos	
Peso Volumétrico Seco Suelto (Kg/m ³)	919.0
Peso Volumétrico Seco Varillado (Kg/m ³)	1,022.0
Abundamiento	1.11
Gravedad Específica	
2.29	

CAPITULO VIII: MEZCLAS



Introducción

Según los ensayos realizados de las muestras estudiadas se seleccionó el material proveniente del banco San Isidro debido a que presenta mejor estabilidad, excluyendo a los otros materiales por su mala graduación, por ser muy granulares, por presentar poco contenido de grava y mal comportamiento al ser compactados; realizando una mezcla con escoria volcánica mixta obtenida del banco Cerro Talpetate, cuyo muestra ensayada presentaba buena graduación y pesos volumétricos superiores a la escoria negra.

Esto se realizó con el fin de mejorar la resistencia de dichos materiales, así como también para garantizar la durabilidad de las obras a construir, garantizando menor compresibilidad, puesto que el resultado final será una mezcla superior a cualquiera de sus componentes y esta pueda ser empleada principalmente en conformación de base y sub-base de pavimentos.

De manera que se realizaron dos tipos de mezclas con dosificaciones distintas para tal fin, una con 40 % Material Selecto – 60 % Hormigón y la otra con valores inversos, esto para observar sus comportamientos en la manejabilidad del material al momento de la compactación, interacción entre sus granos como medio de unión y diferencias en cuanto a las deformaciones que presentarían al momento de la penetración con el pistón en el ensaye de CBR.

40 % SELECTO - 60 % HORMIGON



8.1.1 Análisis Granulométrico y Pesos Volumétricos

Determinación de Composición Granulométrica y Pesos Volumétricos del Material Seco Suelto

Composición Granulométrica del material Retenido en la malla Nº 4

Malla	PRP(gr)	% RP	% RA	% QP
2"	-	-	-	100
1½"	58.0	2	2	98
1"	111.0	3	5	95
¾"	161.0	4	9	91
⅜"	693.0	18	27	73
Nº 4	1,023.0	27	54	46
Pasa Nº 4	1,758.0	46	100	-
Suma	3,804.0	100	-	-

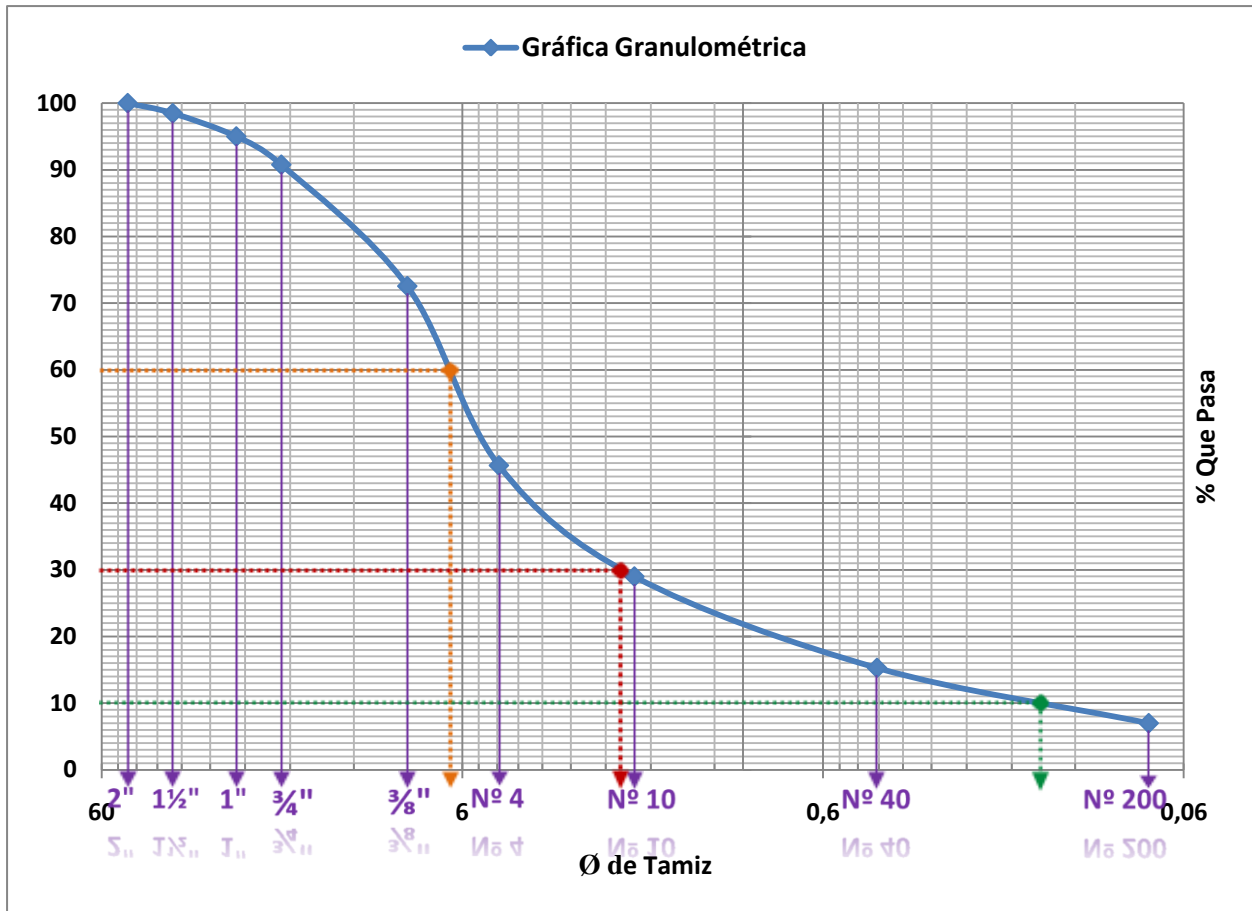
Determinación de Pesos	
PSS (gr)	3,402.0
PSV (gr)	3,743.0
Volumen (cm³)	2,850.0
Peso Volumétrico (Kg/m³)	
PVSS	1,194.0
PVSV	1,313.0

Composición Granulométrica del material que pasa la malla Nº 4 (Lavado)

Malla	Peso Retenido Parcial (gr)		% Retenido Parcial		% RP (Promedio)	% RA	% QP
Nº 10	55.4	61.0	16	18	17	71	29
Nº 40	47.1	47.2	14	14	14	85	15
Nº 200	27.7	26.1	8	7	8	93	7
Pasa Nº 200	26.2	23.4	8	7	7	100	-
Suma	156.4	157.7	46	46	46	-	-

Material Lavado (gr)

Prueba No. 1	Peso Seco	156.4	Prueba No. 2	Peso Seco	157.7
	Peso Seco Lavado	130.2		Peso Seco Lavado	134.3
	Pasa Nº 200	26.2		Pasa Nº 200	23.4



Gráfica VIII.1 Representación Granulométrica de los porcentajes que pasan por los tamices con aberturas de diámetros variados.

Tabla VIII.1 Valores Obtenidos de Curva Granulométrica.

D₆₀	D₃₀	D₁₀
6.5	0.88	0.076
$C_u = 86.0$		$C_c = 1.6$
Mezcla bien Graduada ($C_u > 4$ y $1 \leq C_c \leq 3$)		

Tabla VIII.2 Resultados Obtenidos de Ensaye Granulométrico.

Tamaño Máximo	¾"
Relación de Finos	0.47
Peso Volumétrico Seco Suelto (PVSS)	1,194.0 Kg/m ³
Peso Volumétrico Seco Varillado (PVSV)	1,313.0 Kg/m ³

8.1.2 Límites de Atterberg

Tabla VIII.3 Determinación de Límites de Consistencia.

Ensayo N°	No Plástico
1	
2	

8.1.3 Gravedad Específica

Ensayo de Densidad Referida al Peso Seco
(Gravedad Específica)

Determinación N°	1	2
Frasco N°	25	25
Peso del Frasco Lleno de Agua (P), (g)	673.6	673.6
Peso del Material Saturado y Superficialmente Seco (As), (g)	50.0	50.0
Total (P + As), (g)	723.6	723.6
Peso del Frasco con Agua y Material (W), (g)	702.5	702.4
Volumen Desalojado{(P + As) - W}, (g)	21.1	21.2
Densidad	2.37	2.36
Densidad Promedio	2.37	

8.1.4 Ensaye de Compactación

8.1.4.1 Proctor Modificado

Prueba de Compactación Proctor Modificado

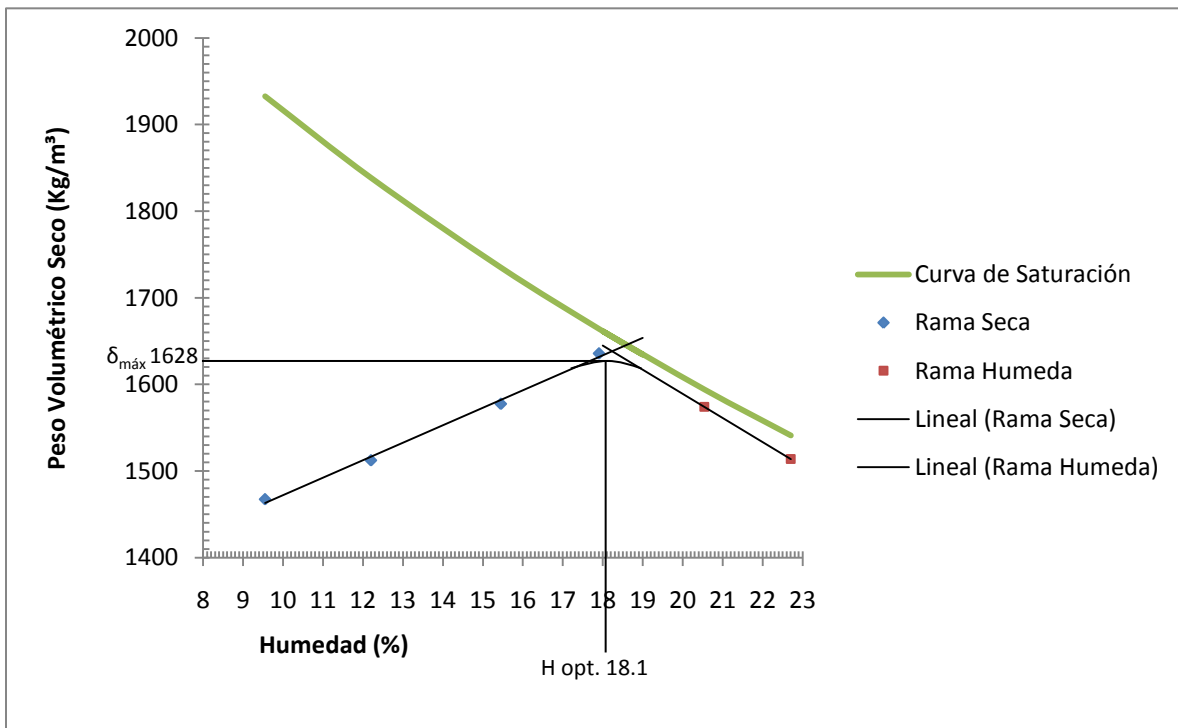
Molde Nº: 20 Peso: 4.259 Kg Volumen: 0,94 Lts Diámetro: 10.16 cm
 Peso del Martillo: 11 Lbs Caída: 18" Golpes por capa: 25 Nº de Capas: 5

Compactación de la Muestra

Peso del Material + Molde (Kg)	5.770	5.854	5.971	6.072	6.042	6005
Peso del Molde (Kg)	4.259	4.259	4.259	4.259	4.259	4.259
Peso del Material en el Molde (Kg)	1.511	1.595	1.712	1.813	1.783	1.746
Peso Volumétrico Húmedo (Kg/m ³)	1,607.0	1,697.0	1,821.0	1,929.0	1,897.0	1,857.0
Peso Volumétrico Seco (Kg/m ³)	1,467.0	1,512.0	1,578.0	1,636.0	1,574.0	1,514.0

Contenido de Agua de la Muestra Compactada

Tara Nº	444	144	51	175	90	C-18
Peso de la Tara + Material Húmedo (gr)	147.3	144.8	150.6	157.2	156.8	163.1
Peso de la Tara + Material Seco (gr)	137.8	132.7	135.4	138.6	135.6	140.6
Peso de Agua (gr)	9.5	12.1	15.2	18.6	21.2	22.5
Peso de Tara (gr)	38.3	33.5	37.0	34.7	32.4	41.5
Peso de Material Seco (gr)	99.5	99.2	98.4	103.9	103.2	99.1
Contenido de Humedad (%)	9.5	12.2	15.4	17.9	20.5	22.7



Gráfica VIII.2 Líneas de Tendencias para obtener $\delta_{máx.}$ y $H_{opt.}$

Tabla VIII.4 Resultados Obtenidos de Pruebas de Compactación.**Proctor Modificado**

Ensaye N°	% H Optimo	Peso Volumétrico Seco Máximo (Kg/m³)
1	18.1	1,628.0

Tabla VIII.5 Propiedades Volumétricas y Gravimétricas de la Mezcla Compactada.

Descripción	<i>n</i> (%)	<i>e</i>	<i>S_r</i> (%)
Proctor Modificado	32	0.46	93

8.1.5 Relación de Carga California (CBR)

Prueba de CBR saturado (Modificado)

P.V.S. Máximo (Kg/m ³)	1,628.0	Humedad Óptima (%)	18.1
Peso del Martillo (Lbs)	11	Numero de Capas	5
Altura de Caída (Plg)	18	Sobrecarga (Lbs)	10
Altura del Espécimen (cm)	12.7	Volumen del Espécimen (Lts)	2.315

Grado de Compactación

Molde (Nº)	0 - 4	38	35
Nº de golpes por Capa	16	36	71
Peso del Material Húmedo + Molde (Kg)	11.080	11.318	11.630
Peso del Molde (Kg)	7.060	7.140	7.225
Peso del Material Húmedo (Kg)	4.020	4.178	4.405
P.V.H. (Kg/m ³)	1,737.0	1,805.0	1,903.0
Humedad (%)	16.7	17.0	16.8
P.V.S. (Kg/m ³)	1,488.0	1,543.0	1,629.0
% de compact. Reproducido	91	95	100

Resistencia a la Penetración

<i>Penetración Sometida (Plg)</i>	<i>Deformación</i>	<i>Carga (Kg)</i>	<i>Deformación</i>	<i>Carga (Kg)</i>	<i>Deformación</i>	<i>Carga (Kg)</i>
0,025	25	116.0	70	325.0	90	418.0
0,050	45	209.0	125	580.0	160	743.0
0,075	60	279.0	180	836.0	225	1,044.0
0,100 (1360,85 Kg)	95	441.0	220	1,021.0	280	1,300.0
0,150	165	766.0	325	1,509.0	415	1,926.0
0,200 (2041,28 Kg)	225	1,044.0	430	1,996.0	530	2,460.0
0,300	335	1,555.0	615	2,855.0	750	3,481.0
C.B.R. (Corregido)						

Hinchamiento

Lectura Final (mm)	0.91	0.90	0.90
Lectura Inicial (mm)	0.90	0.90	0.90
Diferencia de Lecturas (mm)	0.01	0.00	0.00
Hinchamiento (%)	0.01	0.00	0.00
Tiempo en Saturación (Hr)	96	96	96

Determinación de la Humedad (Modificado)

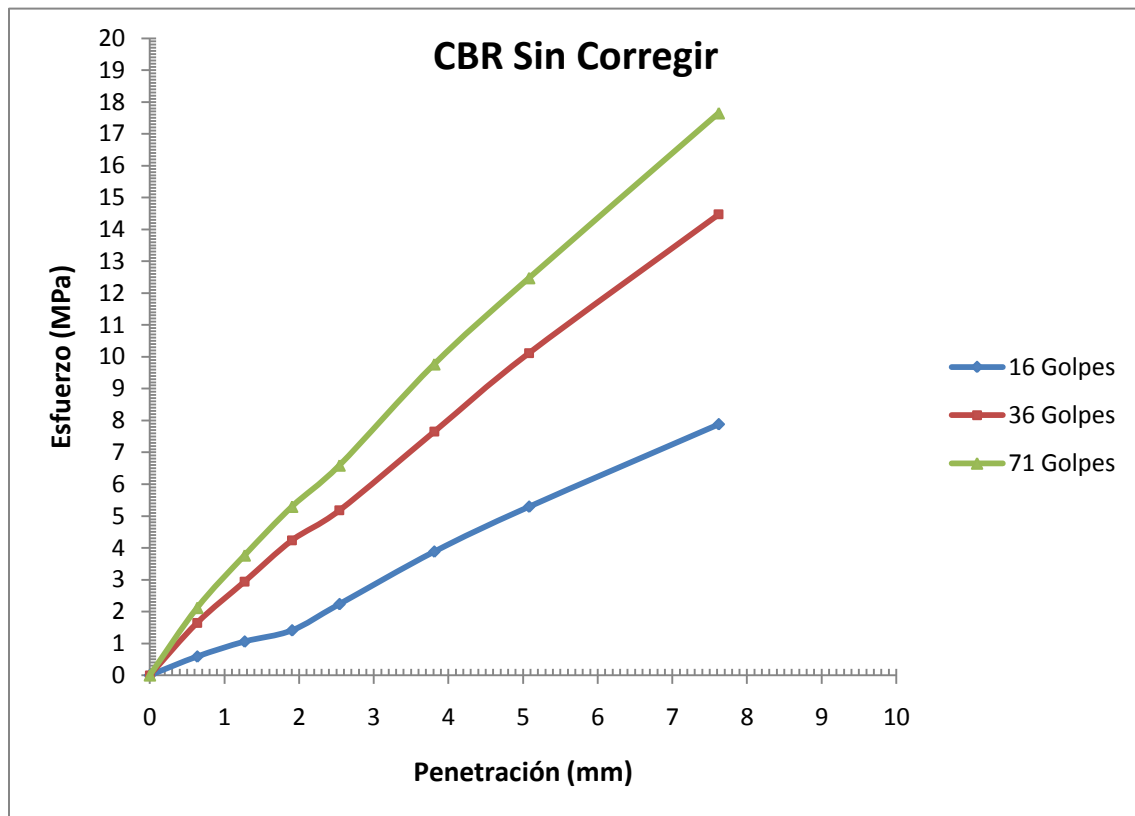
<i>Ensaye N°</i>	<i>1(16golpes)</i>	
Recipiente N°	100	197
Peso Húmedo + Recipiente (gr)	145.5	146.8
Peso Seco + Recipiente (gr)	130.4	130.6
Agua (gr)	15.1	16.2
Peso Seco + Recipiente (gr)	130.4	130.6
Peso del Recipiente (gr)	38.3	35.3
Peso Seco - Recipiente (gr)	92.1	95.3
Contenido de Humedad (%)	16.4	17.0
Promedio de Humedades (%)	16.7	

<i>Ensaye N°</i>	<i>2(36 golpes)</i>	
Recipiente N°	0 - 0	102
Peso Húmedo + Recipiente (gr)	147.7	147.6
Peso Seco + Recipiente (gr)	131.8	130.8
Agua (gr)	15.9	16.8
Peso Seco + Recipiente (gr)	131.8	130.8
Peso del Recipiente (gr)	33.0	37.2
Peso Seco - Recipiente (gr)	98.8	93.6
Contenido de Humedad (%)	16.1	17.9
Promedio de Humedades (%)	17.0	

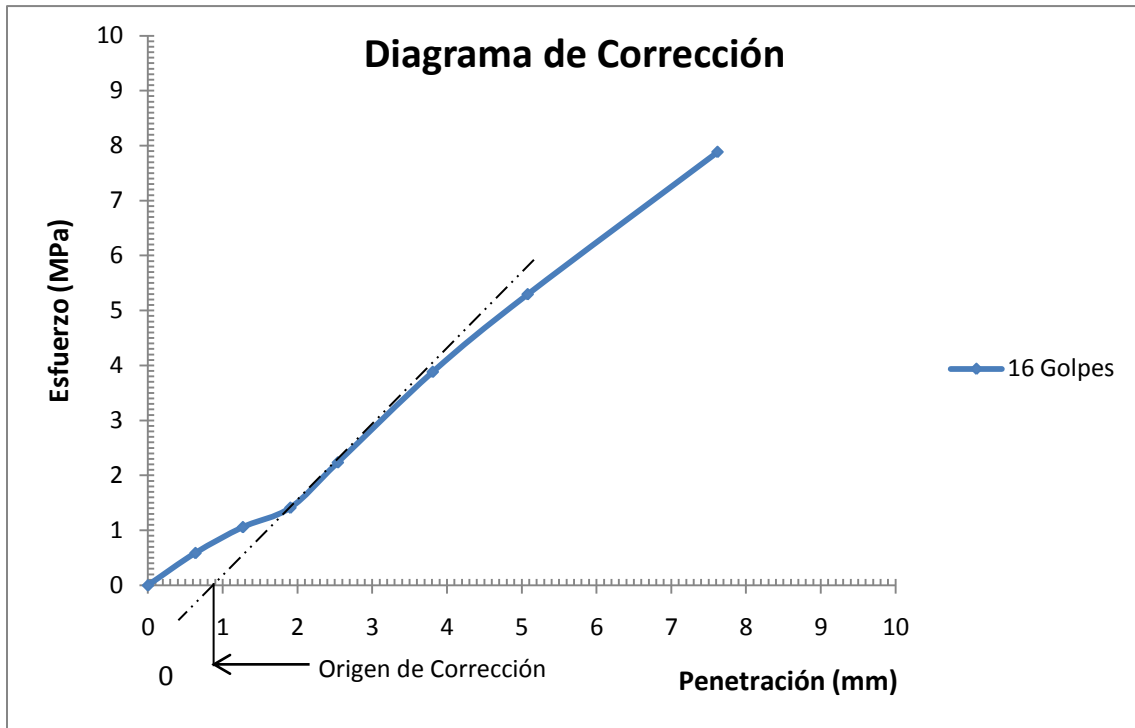
<i>Ensaye N°</i>	<i>3(71 golpes)</i>	
Recipiente N°	24	28
Peso Húmedo + Recipiente (gr)	149.7	148.4
Peso Seco + Recipiente (gr)	133.8	131.7
Agua (gr)	15.9	16.7
Peso Seco + Recipiente (gr)	133.8	131.7
Peso del Recipiente (gr)	37.5	34.2
Peso Seco - Recipiente (gr)	96.3	97.5
Contenido de Humedad (%)	16.5	17.1
Promedio de Humedades (%)	16.8	

Tabla VIII.6 Valores de Resistencia a la Penetración (Datos sin Corregir)

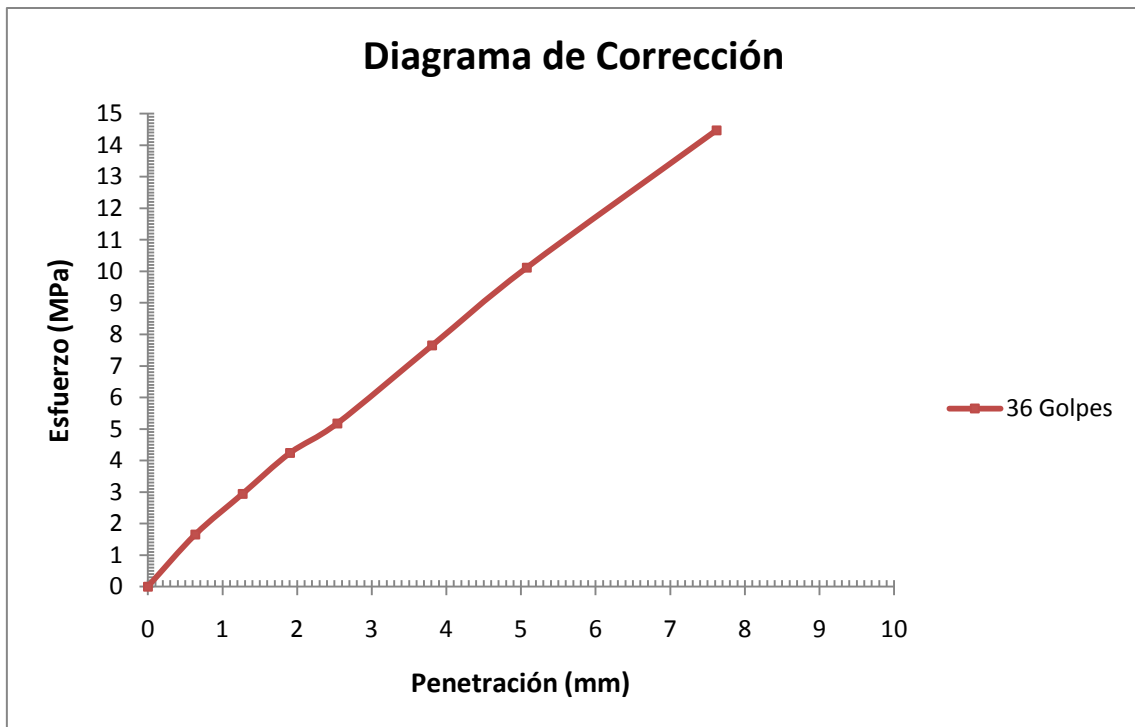
Penetración		Esfuerzo		
Plg	mm	16 Golpes (MPa)	36 Golpes (MPa)	71 Golpes (MPa)
0.0	0.0	0	0	0
0.025	0.6	0.6	1.6	2.1
0.05	1.3	1.1	2.9	3.8
0.075	1.9	1.4	4.2	5.3
0.1	2.5	2.2	5.2	6.6
0.15	3.8	3.9	7.6	9.8
0.2	5.1	5.3	10.1	12.5
0.3	7.6	7.9	14.5	17.6



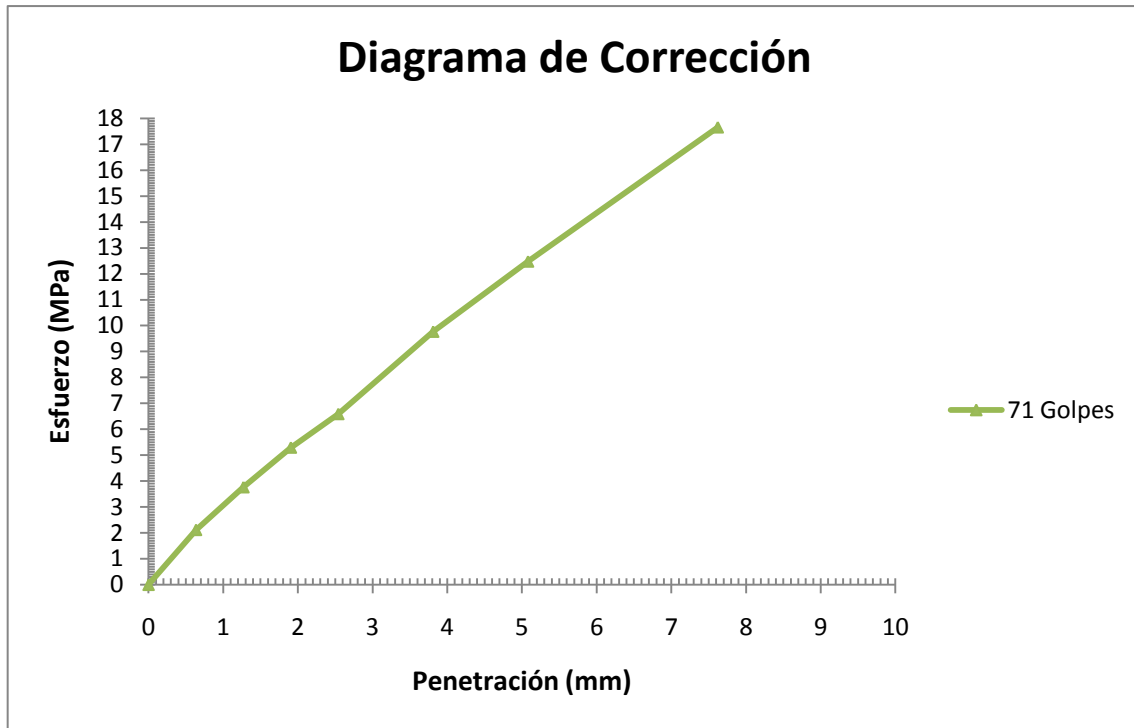
Gráfica VIII.3 Comportamiento de Esfuerzo Vs Deformación a distintos números de Golpes.



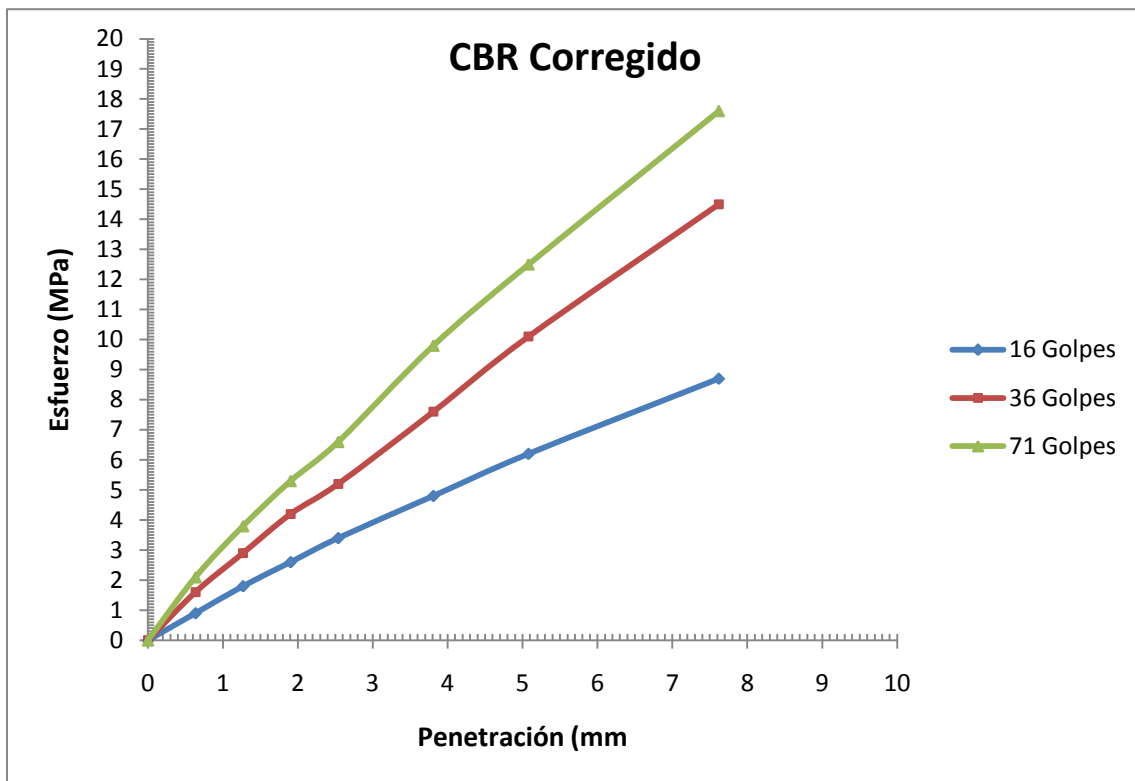
Gráfica VIII.4 Corrección del Comportamiento de Esfuerzo Vs Deformación a 16 Golpes.



Gráfica VIII.5 Corrección del Comportamiento de Esfuerzo Vs Deformación a 36 Golpes.



Gráfica VIII.6 Corrección del Comportamiento de Esfuerzo Vs Deformación a 71 Golpes.

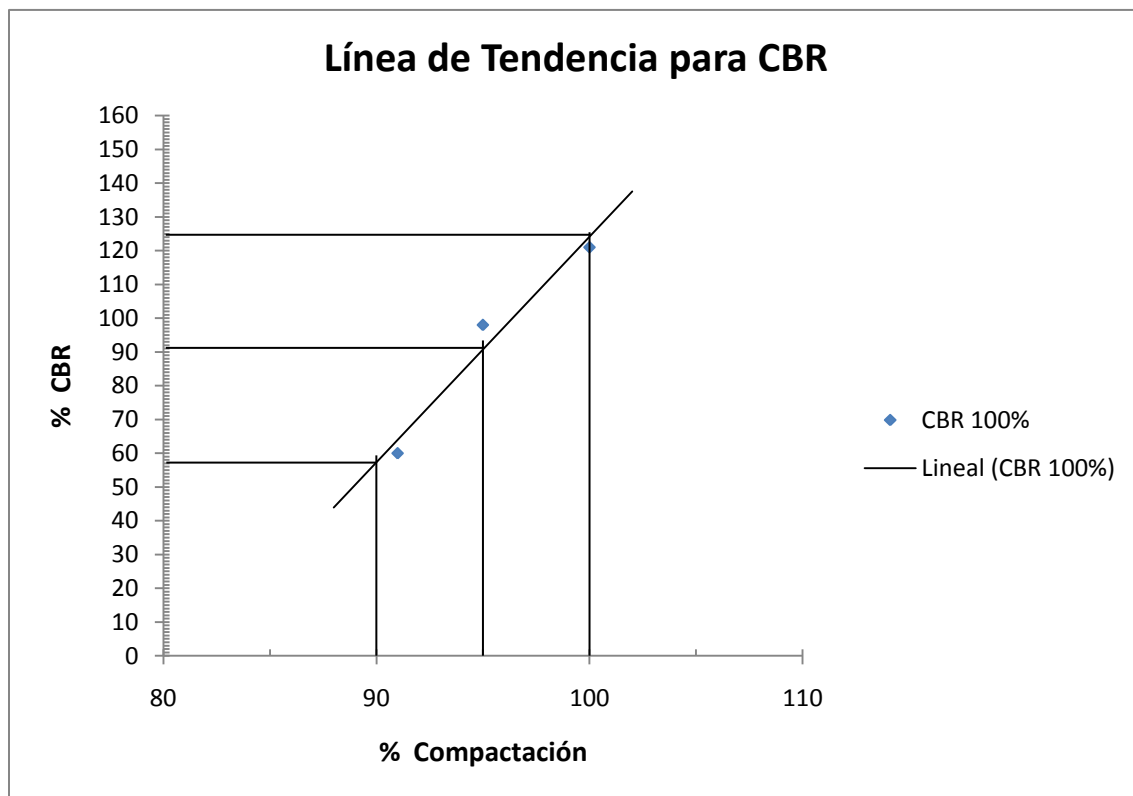


Gráfica VIII.7 Comportamiento de Esfuerzo Vs Deformación Corregido.

**Tabla VIII.7 Resultados Prueba de CBR.
CBR Modificado**

Resistencia a la Penetración (Datos Corregido)

Penetración		Esfuerzo		
Plg	mm	16 Golpes (MPa)	36 Golpes (MPa)	71 Golpes (MPa)
0.0	0.0	0	0	0
0.025	0.6	0.9	1.6	2.1
0.05	1.3	1.8	2.9	3.8
0.075	1.9	2.6	4.2	5.3
0.1	2.5	3.4	5.2	6.6
0.15	3.8	4.8	7.6	9.8
0.2	5.1	6.2	10.1	12.5
0.3	7.6	8.7	14.5	17.6
% de CBR Obtenidos				
0.2	5.1	6.2	10.1	12.5
Carga patrón (MPa)		10.3	10.3	10.3
% de CBR		60	98	121
% de Compactación		91	95	100



Gráfica VIII.8 Obtención de Valores de CBR para distintos % de Compactación.

Tabla VIII.8 Valores de CBR para los diferentes Porcentajes de Compactación.

CBR Modificado	
% de Compactación	% de CBR
90	57
95	91
100	125

Tabla VIII.9 Informe de Ensayes de Suelos.
40 % Selecto – 60 % Hormigón

Granulometría	
Tamaño Máximo	¾"
Relación de Finos	0.47
Límites de Atterberg	
Límite Líquido	-
Índice de Plasticidad	NP
Clasificación	
Clasificación H.R.B	A-1-a(0)
Clasificación S.U.C.S	GW-GM
Pruebas de Compactación	
Proctor Modificado	
Peso Volumétrico Seco Máximo (Kg/m ³)	1,628.0
Humedad Óptima (%)	18.1
Enjuntamiento	0.81
Porosidad (%)	32
Relación de Vacíos	0.46
Grado de Saturación (%)	93
C.B.R. Modificado	
% de Compactación	% de CBR
90	57
95	91
100	125
Pesos Volumétricos	
Peso Volumétrico Seco Suelto (Kg/m ³)	1,194.0
Peso Volumétrico Seco Varillado (Kg/m ³)	1,313.0
Abundamiento	1.10
Gravedad Específica	
2.37	

Tabla VIII.10 Análisis de Resultados para Uso Ingenieril conforme a Normativas y Especificaciones

Banco	Normativa de referencia	Parámetros		Resultados Obtenidos del Banco		Observación
Mezcla 40 % Selecto – 60 % Hormigón	Clasificación AASHTO	Explanada y Subrasante	Tamiz % Q.P. No. 40 = 50 máx. No.200 = 25 máx.	Tamiz % Q.P. No. 40 = 15 No.200 = 7	Se clasifica como A-1-a(0), presentando una calidad excelente para este uso en particular y es altamente estable bajo condiciones críticas, debido a que su índice de grupo pone de manifiesto la ausencia de material arcilloso.	
	NIC - 2000	Sub-base	Tamiz % Q.P. 1 ½ " = 100 No. 4 = 35 – 65 No. 200 = 0 - 10	Tamiz % Q.P. 1 ½ " = 98 No. 4 = 46 No. 200 = 7	Según rangos granulométricos, resistencia mecánica y bajo perspectivas de plasticidad este material puede ser utilizado como un material para sub-base, manteniendo un % mínimo de compactación del 90 % modificado.	
			L.L. = 25 máx. I.P. = 6 máx. C.B.R. = 50 min.	L.L. = 0 I.P. = 0 C.B.R. = 57 - 125		
	Principios de Diseño de Pavimentos, Jhon Wiley & Sons, 1959	Sub-base	C.B.R. = 20 – 50 SUCS = GM, GC, GW, GP, SM, SP. AASHTO = A-1-b, A-2-5, A-3, A-2-6	C.B.R. = ≥ 57 SUCS = GW - GM AASHTO = A-1-a(0)	Este material cumple satisfactoriamente con todas las especificaciones para este uso, sin embargo dado a la excelente calidad que presenta, sobrepasa dichas expectativas.	
		Base	C.B.R. = > 50 SUCS = GM, GC, GW, GP, SM, SP. AASHTO = A-1-a, A-1-b, A-2-5, A-3, A-2-4, A-2-6	C.B.R. = 57 - 125 SUCS = GW - GM AASHTO = A-1-a(0)	Tanto con los sistemas de clasificación como su resistencia mecánica este material presenta una calidad excelente para ser utilizado para este fin, manteniendo un % de compactación ≥ 90 % modificado.	
	ASTM D-1241	Base	Ver tabla II.4 Pag.36	Tamiz% Q.P 1 " = 95 3/8 " = 73 No. 4 = 46	Tamiz% Q.P No. 10 = 29 No. 40 = 15 No. 200 = 7	Según rangos granulométricos, resistencia mecánica y bajo perspectivas de plasticidad este material puede ser utilizado para dicho uso, manteniendo un % de compactación ≥ 95 % modificado, para alcanzar valores de CBR > 80 %.
L.L. = 0 I.P. = 0 C.B.R. = 91 - 125 PVSV = 1313 Kg/m3						
Laboratorios IMS	Revestimiento De Caminos	Tamiz % Q.P. 2" = 100 No. 4 = 40 – 60 No. 40 = 20 – 35 No. 200 = 8 - 15	Tamiz % Q.P. 2" = 100 No. 4 = 46 No. 40 = 15 No. 200 = 7	Según criterios de plasticidad este no puede ser utilizado para revestimientos, sin embargo, cumple bajo rangos granulométricos y de resistencia mecánica manteniendo un porcentaje mínimo de compactación de 90 % modificado.		
		L.L. = 40 máx. I.P. = 4 - 10 máx. C.B.R. = 30 min.	L.L. = 0 I.P. = 0 C.B.R. > 57			

Elaborado por: Cano Néstor, Molina Alexa, Hurtado Johnston

60% SELECTO - 40% HORMIGON



8.2.1 Análisis Granulométrico y Pesos Volumétricos

Determinación de Composición Granulométrica y Pesos Volumétricos del Material Seco Suelto

Composición Granulométrica del material Retenido en la malla N° 4

Malla	PRP(gr)	% RP	% RA	% QP
2"	-	-	-	100
1½"	74.0	2	2	98
1"	261.0	6	8	92
¾"	238.0	6	14	86
⅜"	519.0	13	27	73
N° 4	713.0	18	45	55
Pasa N° 4	2,204.0	55	100	-
Suma	4,009.0	100	-	-

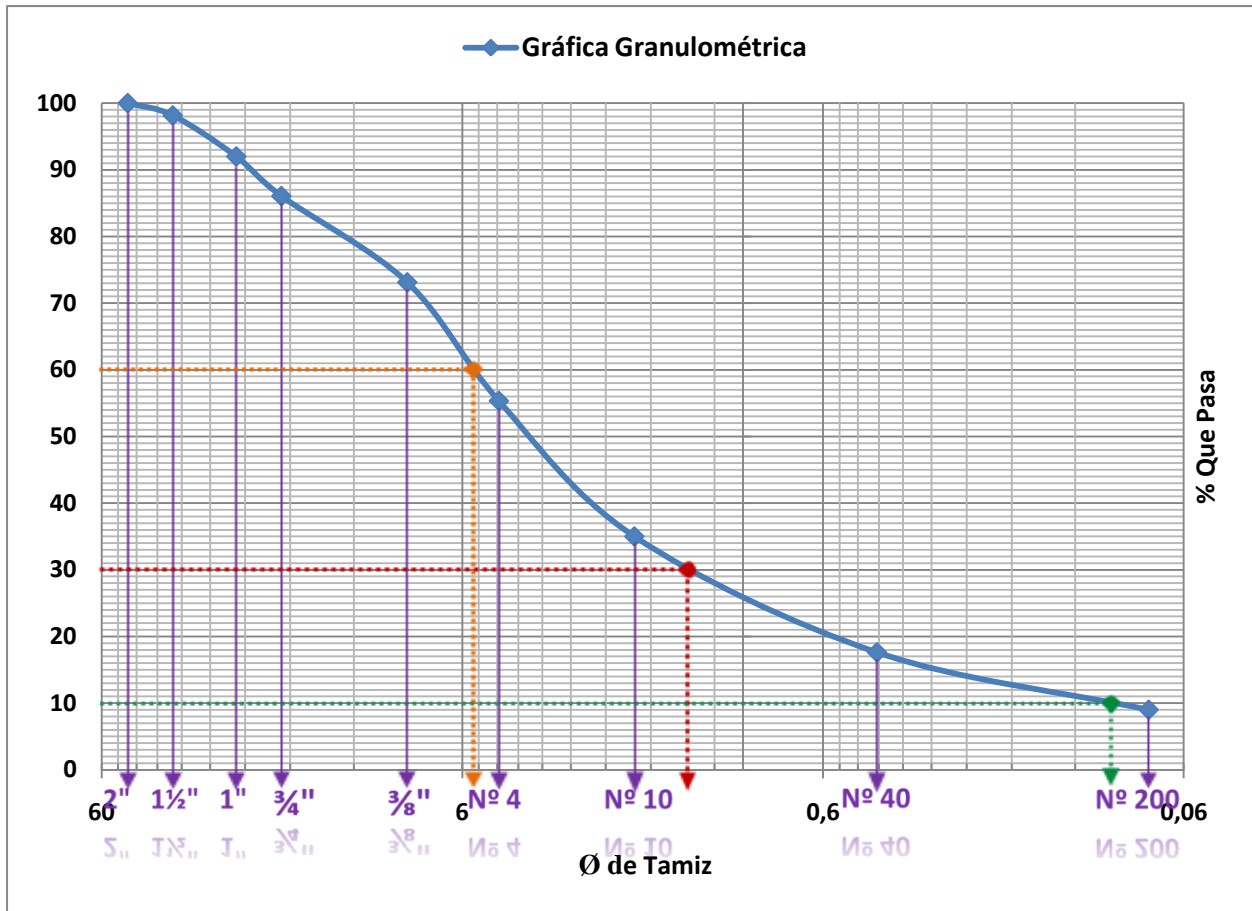
Determinación de Pesos	
PSS (gr)	3,497.0
PSC (gr)	4,001.0
Volumen (cm ³)	2,850.0
Peso Volumétrico (Kg/m ³)	
PVSS	1,227.0
PVSV	1,404.0

Composición Granulométrica del material que pasa la malla N° 4 (Lavado)

Malla	Peso Retenido Parcial (gr)		% Retenido Parcial		% RP (Promedio)	% RA	% QP
N° 10	42.8	45.5	19	20	20	65	35
N° 40	38,3	39.9	17	18	17	82	18
N° 200	22.6	18.9	10	8	9	91	9
Pasa N° 200	21.4	19.5	9	9	9	100	
Suma	125.1	123.8	55	55	55		

Material Lavado (gr)

Prueba No. 1	Peso Seco	125.1	Prueba No. 2	Peso Seco	123.8
	Peso Seco Lavado	103.7		Peso Seco Lavado	104.3
	Pasa N° 200	21.4		Pasa N° 200	19.5



Gráfica VIII.9 Representación Granulométrica de los porcentajes que pasan por los tamices con aberturas de diámetros variados.

Tabla VIII.11 Valores Obtenidos de Curva Granulométrica.

D ₆₀	D ₃₀	D ₁₀
5.3	0.74	0.067
C _u = 79.0		C _c = 1.5
Mezcla bien Graduada (C _u > 4 y 1 ≤ C _c ≤ 3)		

Tabla VIII.12 Resultados Obtenidos de Ensaye Granulométrico.

Tamaño Máximo	3/4"
Relación de Finos	0.5
Peso Volumétrico Seco Suelto (PVSS)	1,227.0 Kg/m ³
Peso Volumétrico Seco Varillado (PVSV)	1,404.0 Kg/m ³

8.2.2 Límites de Atterberg

Tabla VIII.13 Determinación de Límites de Consistencia.

Ensayo N°	No Plástico
1	
2	

8.2.3 Gravedad Específica

Ensayo de Densidad Referida al Peso Seco
(Gravedad Específica)

Determinación N°	1	2
Frasco N°	25	25
Peso del Frasco Lleno de Agua (P), (g)	673.6	673.6
Peso del Material Saturado y Superficialmente Seco (As), (g)	50.0	50.0
Total (P + As), (g)	723.6	723.6
Peso del Frasco con Agua y Material (W), (g)	703.5	703.8
Volumen Desalojado{(P + As) - W}, (g)	19.6	19.8
Densidad	2.55	2.53
Densidad Promedio	2.54	

8.2.4 Ensaye de Compactación

8.2.4.1 Proctor Modificado

Ensaye de Compactación Proctor Modificado

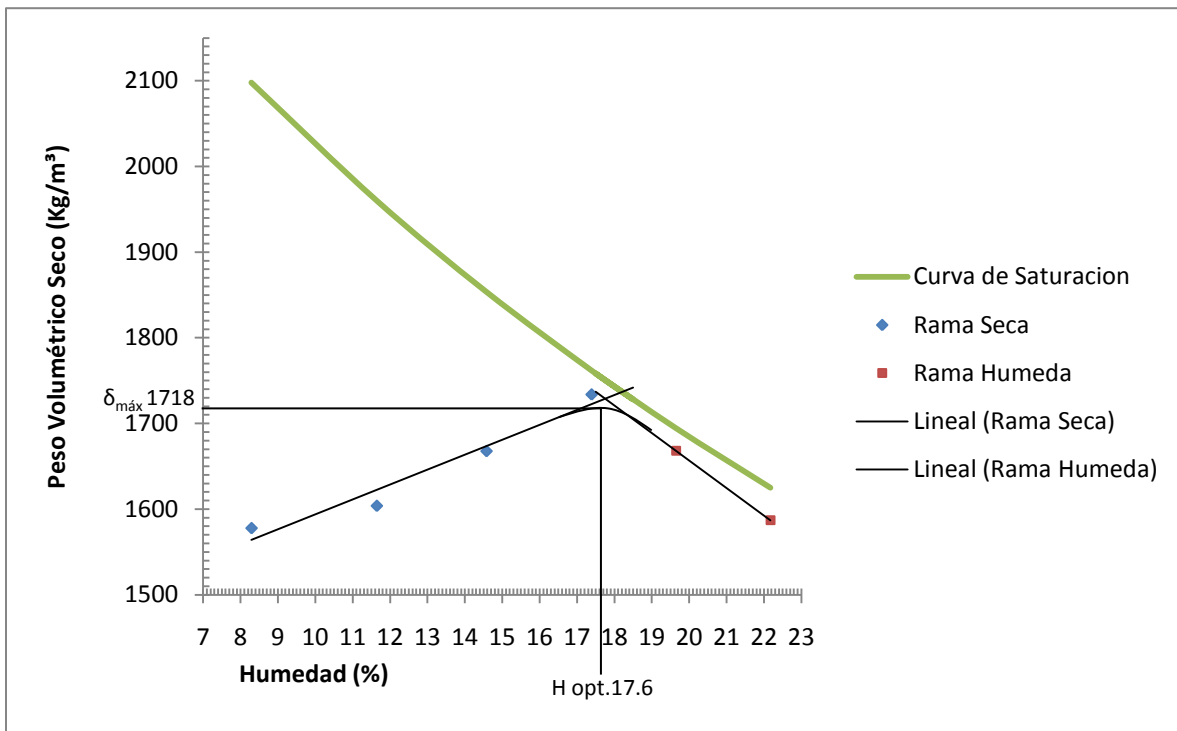
Molde Nº: 20 Peso: 4.259 Kg Volumen: 0,94 Lts Diámetro: 10.16 cm
 Peso del Martillo: 11 Lbs Caída: 18" Golpes por capa: 25 Nº de Capas: 5

Compactación de la Muestra

Peso del Material + Molde (Kg)	5.865	5.942	6.055	6.172	6.135	6082
Peso del Molde (Kg)	4.259	4.259	4.259	4.259	4.259	4.259
Peso del Material en el Molde (Kg)	1.606	1.683	1.796	1.913	1.876	1.823
Peso Volumétrico Húmedo (Kg/m ³)	1,709.0	1,790.0	1,911.0	2,035.0	1,996.0	1,939.0
Peso Volumétrico Seco (Kg/m ³)	1,578.0	1,604.0	1,668.0	1,734.0	1,668.0	1,587.0

Contenido de Agua de la Muestra Compactada

Tara Nº	28	24	199	237	52	124
Peso de la Tara + Material Húmedo (gr)	167.4	167.9	165.4	173.7	171.4	179.1
Peso de la Tara + Material Seco (gr)	157.2	154.3	149.0	153.2	151.0	152.8
Peso de Agua (gr)	10.2	13.6	16.4	20.5	20.4	26.3
Peso de Tara (gr)	34.2	37.5	36.5	35.3	47.2	34.2
Peso de Material Seco (gr)	123.0	116.8	112.5	117.9	103.8	118.6
Contenido de Humedad (%)	8.3	11.6	14.6	17.4	19.7	22.2



Gráfica VIII.10 Líneas de Tendencias para obtener $\delta_{máx.}$ y $H_{opt.}$

Tabla VIII.14 Resultados Obtenidos de Pruebas de Compactación.**Proctor Modificado**

Ensaye N°	% H Optimo	Peso Volumétrico Seco Máximo (Kg/m³)
1	17.6	1,718.0

Tabla VIII.15 Propiedades Volumétricas y Gravimétricas de la Mezcla Compactada.

Descripción	<i>n</i> (%)	<i>e</i>	<i>S_r</i> (%)
Proctor Modificado	32	0.48	93

8.2.5 Relación de Carga California (CBR)

Prueba de CBR saturado (Modificado)

P.V.S. Máximo (Kg/m ³)	1,718.0	Humedad Óptima (%)	17.6
Peso del Martillo (Lbs)	11	Numero de Capas	5
Altura de Caída (Plg)	18	Sobrecarga (Lbs)	10
Altura del Espécimen (cm)	12.7	Volumen del Espécimen (Lts)	2.315

Grado de Compactación

Molde (Nº)	14	42	0 - 2
Nº de golpes por Capa	16	36	71
Peso del Material Húmedo + Molde (Kg)	11.425	11.762	11.998
Peso del Molde (Kg)	7.175	7.250	7.290
Peso del Material Húmedo (Kg)	4.250	4.512	4.708
P.V.H. (Kg/m ³)	1,836.0	1,949.0	2,034.0
Humedad (%)	16.9	18.0	17.7
P.V.S. (Kg/m ³)	1,570.0	1,652.0	1,728.0
% de compact. Reproducido	91	96	101

Resistencia a la Penetración

<i>Penetración Sometida (Plg)</i>	<i>Deformación</i>	<i>Carga (Kg)</i>	<i>Deformación</i>	<i>Carga (Kg)</i>	<i>Deformación</i>	<i>Carga (Kg)</i>
0,025	15	70.0	35	162.0	45	209.0
0,050	45	209.0	70	325.0	135	627.0
0,075	80	371.0	100	464.0	230	1,068.0
0,100 (1360,85 Kg)	105	487.0	165	766.0	375	1,741.0
0,150	210	975.0	300	1,393.0	535	2,483.0
0,200 (2041,28 Kg)	295	1,369.0	395	1,834.0	671	3,115.0
0,300	465	2,158.0	555	2,576.0	815	3,783.0
C.B.R. (Corregido)						

Hinchamiento

Lectura Final (mm)	0.91	0.90	0.90
Lectura Inicial (mm)	0.90	0.90	0.90
Diferencia de Lecturas (mm)	0.01	0.00	0.00
Hinchamiento (%)	0.01	0.00	0.00
Tiempo en Saturación (Hr)	96	96	96

Determinación de la Humedad (Modificado)

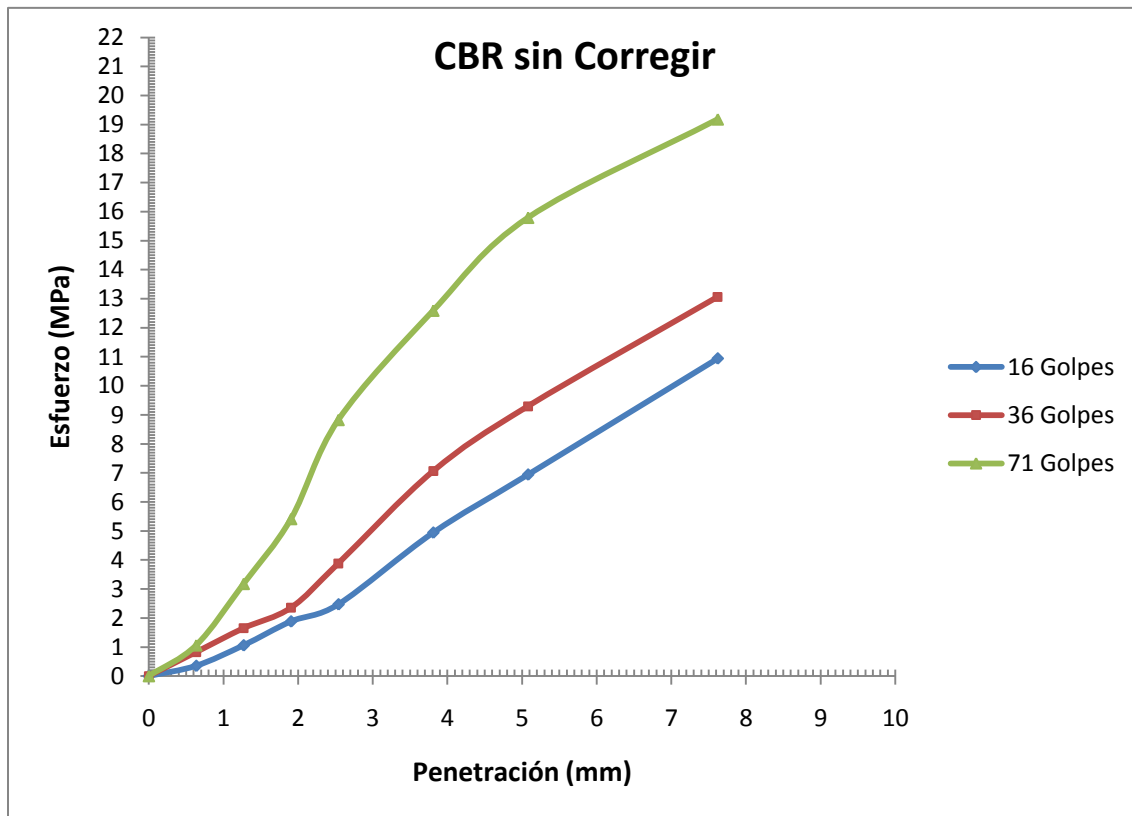
<i>Ensaye Nº</i>	<i>1(16golpes)</i>	
Recipiente Nº	444	199
Peso Húmedo + Recipiente (gr)	149.4	147.0
Peso Seco + Recipiente (gr)	133.7	130.7
Agua (gr)	15.7	16.3
Peso Seco + Recipiente (gr)	133.7	130.7
Peso del Recipiente (gr)	38.3	36.5
Peso Seco - Recipiente (gr)	95.4	94.2
Contenido de Humedad (%)	16.5	17.3
Promedio de Humedades (%)	16.9	

<i>Ensaye Nº</i>	<i>2(36 golpes)</i>	
Recipiente Nº	157	BK - 56
Peso Húmedo + Recipiente (gr)	153.3	155.9
Peso Seco + Recipiente (gr)	136.1	139.0
Agua (gr)	17.2	16.9
Peso Seco + Recipiente (gr)	136.1	139.0
Peso del Recipiente (gr)	41.5	43.8
Peso Seco - Recipiente (gr)	94.6	95.2
Contenido de Humedad (%)	18.2	17.8
Promedio de Humedades (%)	18.0	

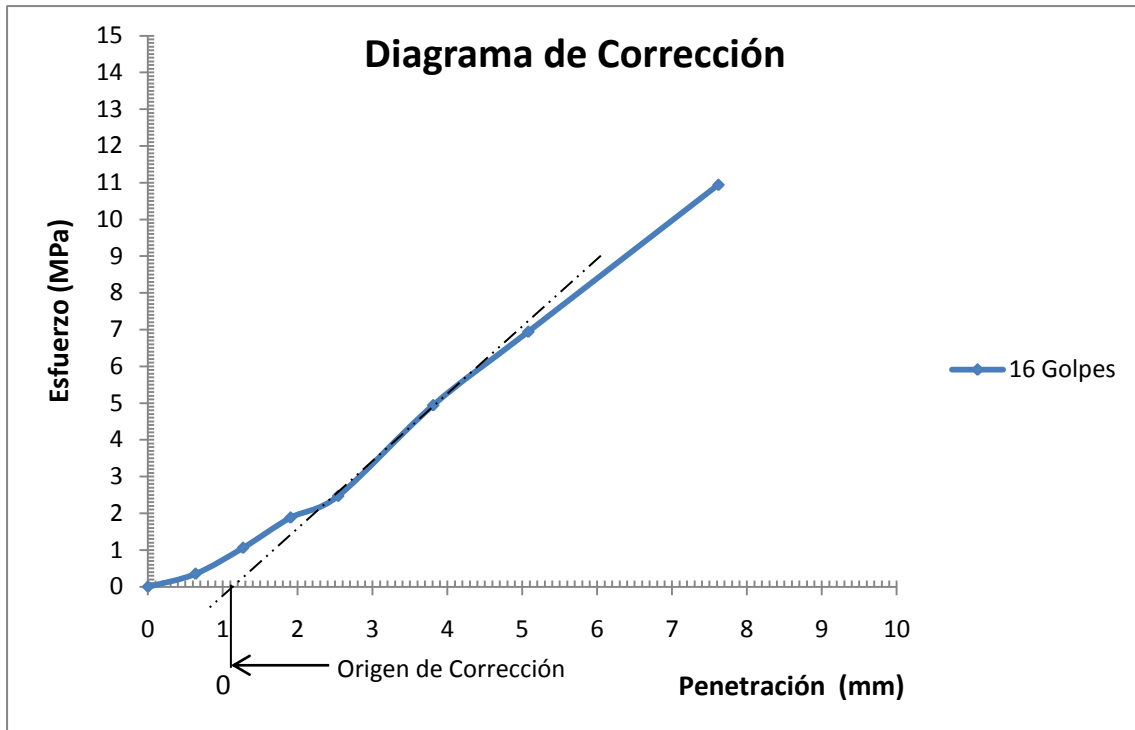
<i>Ensaye Nº</i>	<i>3(71 golpes)</i>	
Recipiente Nº	169	52
Peso Húmedo + Recipiente (gr)	157.4	158.2
Peso Seco + Recipiente (gr)	140.8	141.4
Agua (gr)	16.6	16.8
Peso Seco + Recipiente (gr)	140.8	141.4
Peso del Recipiente (gr)	46.1	47.2
Peso Seco - Recipiente (gr)	94.7	94.2
Contenido de Humedad (%)	17.5	17.8
Promedio de Humedades (%)	17.7	

Tabla VIII.16 Valores de Resistencia a la Penetración (Datos sin Corregir)

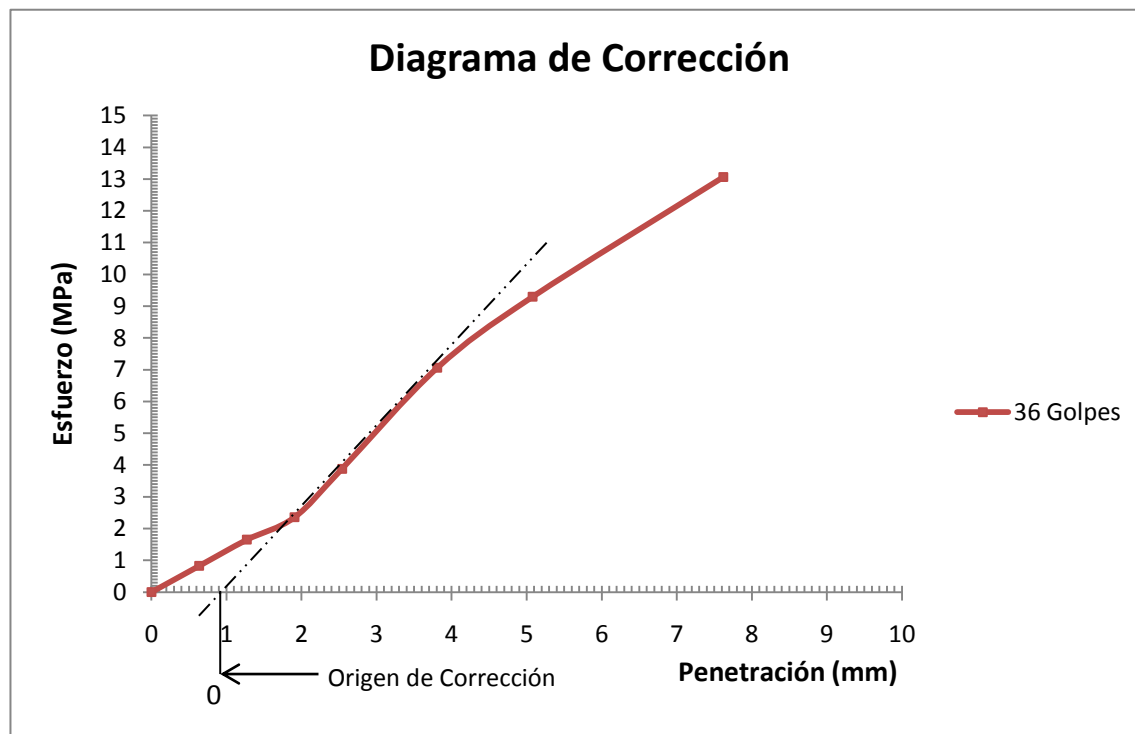
Penetración		Esfuerzo		
Plg	mm	16 Golpes (MPa)	36 Golpes (MPa)	71 Golpes (MPa)
0.0	0.0	0	0	0
0.025	0.6	0,4	0,8	1,1
0.05	1.3	1,1	1,6	3,2
0.075	1.9	1,9	2,4	5,4
0.1	2.5	2,5	3,9	8,8
0.15	3.8	4,9	7,1	12,6
0.2	5.1	6,9	9,3	15,8
0.3	7.6	10,9	13,1	19,2



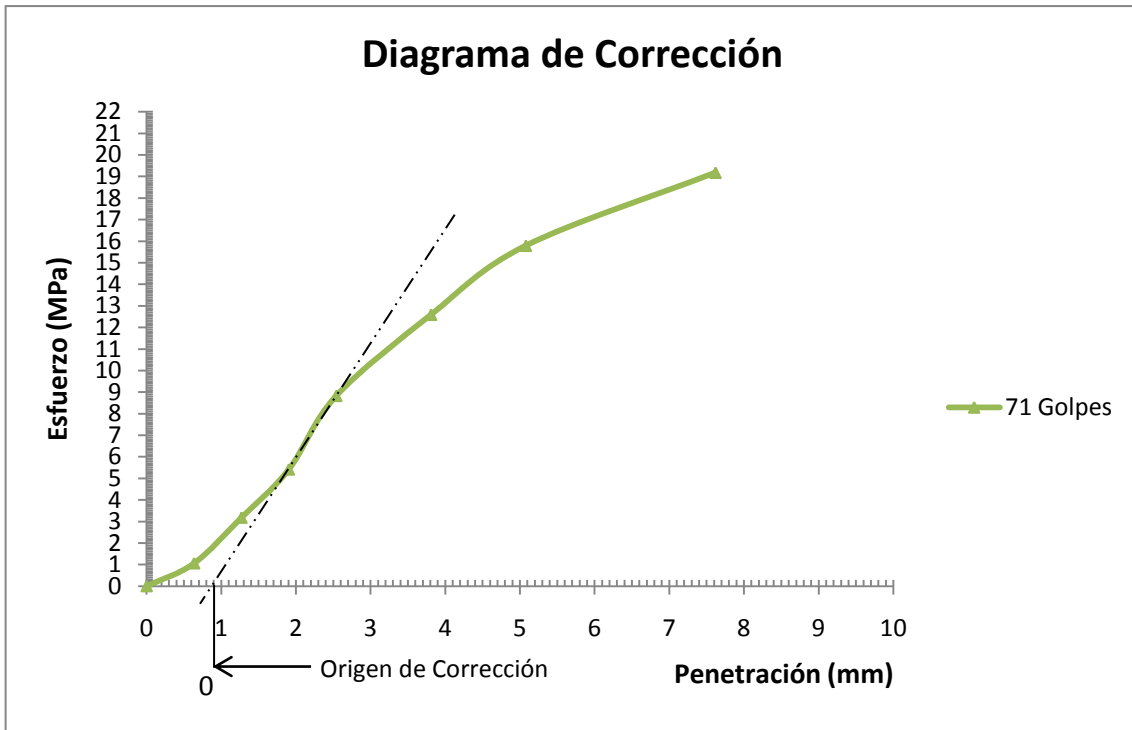
Gráfica VIII.11 Comportamiento de Esfuerzo Vs Deformación a distintos números de Golpes.



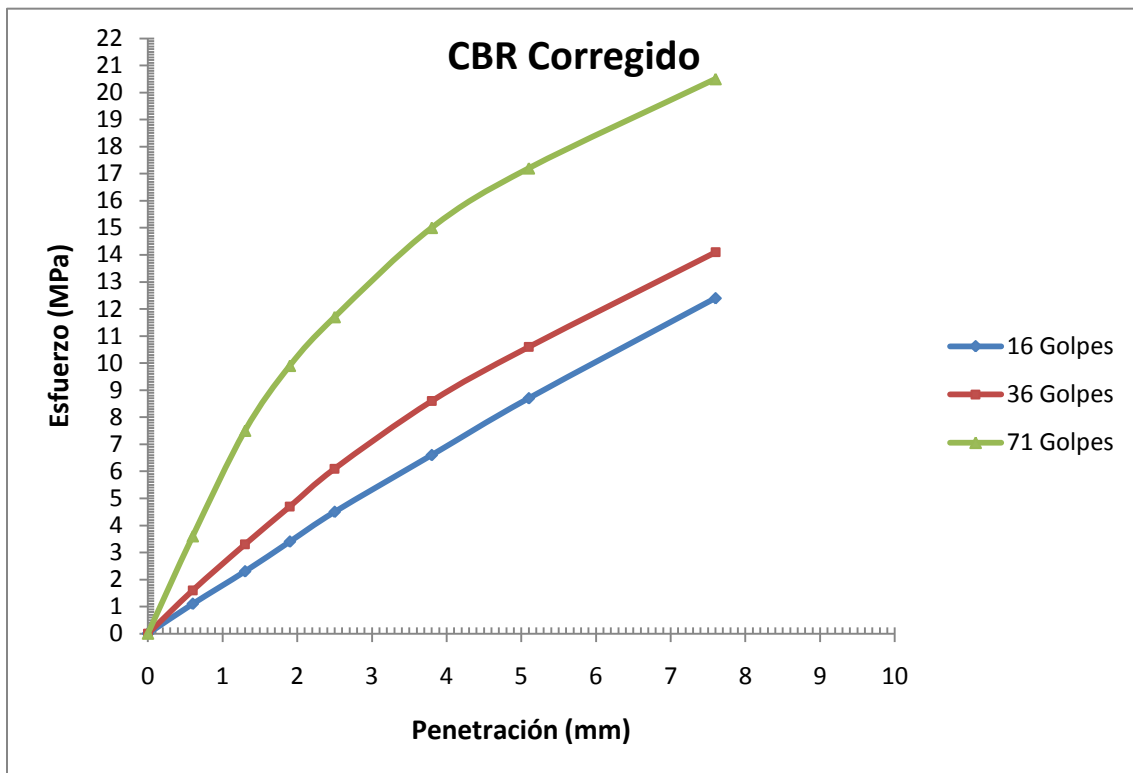
Gráfica VIII.12 Corrección del Comportamiento de Esfuerzo Vs Deformación a 16 Golpes.



Gráfica VIII.13 Corrección del Comportamiento de Esfuerzo Vs Deformación a 36 Golpes.



Gráfica VIII.14 Corrección del Comportamiento de Esfuerzo Vs Deformación a 71 Golpes.

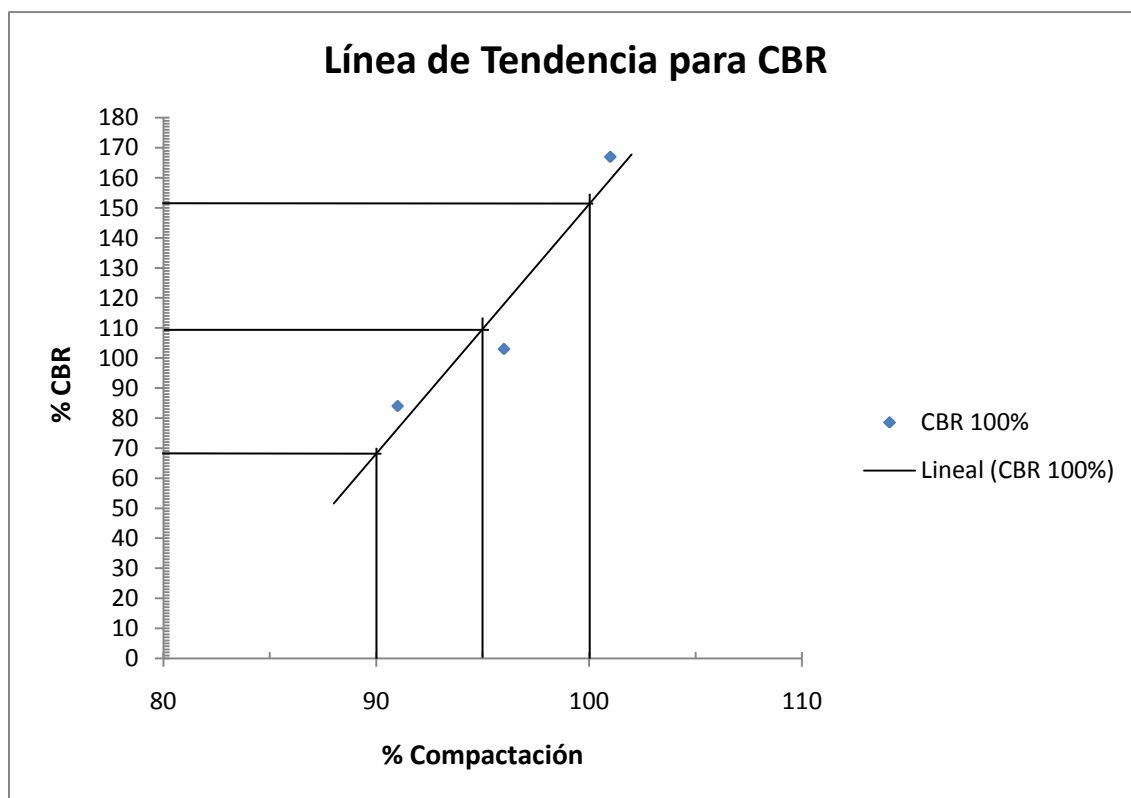


Gráfica VIII.15 Comportamiento de Esfuerzo Vs Deformación Corregido.

Tabla VIII.17 Resultados Prueba de CBR.
CBR Modificado

Resistencia a la Penetración (Datos Corregido)

Penetración		Esfuerzo		
Plg.	mm	16 Golpes (MPa)	36 Golpes (MPa)	71 Golpes (MPa)
0.0	0.0	0	0	0
0.025	0.6	1.1	1.6	3.6
0.05	1.3	2.3	3.3	7.5
0.075	1.9	3.4	4.7	9.9
0.1	2.5	4.5	6.1	11.7
0.15	3.8	6.6	8.6	15.0
0.2	5.1	8.7	10.6	17.2
0.3	7.6	12.4	14.1	20.5
% de CBR Obtenidos				
0.2	5.1	8.7	10.6	17.2
Carga patrón (MPa)		10.3	10.3	10.3
% de CBR		84	103	167
% de Compactación		91	96	101



Gráfica VIII.16 Obtención de Valores de CBR para distintos % de Compactación.

Tabla VIII.18 Valores de CBR para los diferentes Porcentajes de Compactación.

CBR Modificado	
% de Compactación	% de CBR
90	68
95	110
100	152

Tabla VIII.19 Informe de Ensayes de Suelos.
60 % Selecto – 40 % Hormigón

Granulometría	
Tamaño Máximo	¾"
Relación de Finos	0.5
Límites de Atterberg	
Límite Líquido	-
Índice de Plasticidad	NP
Clasificación	
Clasificación H.R.B	A-1-b(0)
Clasificación S.U.C.S	SW-SM
Pruebas de Compactación	
Proctor Modificado	
Peso Volumétrico Seco Máximo (Kg/m ³)	1,718.0
Humedad Óptima (%)	17.6
Enjuntamiento	0.82
Porosidad (%)	32
Relación de Vacíos	0.48
Grado de Saturación (%)	93
C.B.R. Modificado	
% de Compactación	% de CBR
90	68
95	110
100	152
Pesos Volumétricos	
Peso Volumétrico Seco Suelto (Kg/m ³)	1,227.0
Peso Volumétrico Seco Varillado (Kg/m ³)	1,404.0
Abundamiento	1.14
Gravedad Específica	
2.54	

Tabla VIII.20 Análisis de Resultados para Uso Ingenieril conforme a Normativas y Especificaciones

Banco	Normativa de referencia	Parámetros		Resultados Obtenidos del Banco		Observación
Mezcla 60 % Selecto – 40 % Hormigón	Clasificación AASHTO	Explanada y Subrasante	Tamiz % Q.P. No. 40 = 50 máx. No.200 = 25 máx.	Tamiz % Q.P. No. 40 = 18 No.200 = 9	Se clasifica como A-1-b(0), presentando una calidad excelente para este uso en particular y es altamente estable bajo condiciones críticas, debido a que su índice de grupo pone de manifiesto la ausencia de material arcilloso.	
	NIC - 2000	Sub-base	Tamiz % Q.P. 1 ½" = 100 No. 4 = 35 – 65 No. 200 = 0 - 10	Tamiz % Q.P. 1 ½" = 98 No. 4 = 55 No. 200 = 9	Según rangos granulométricos, resistencia mecánica y bajo perspectivas de plasticidad este material puede ser utilizado como un material para sub-base, manteniendo un % mínimo de compactación del 90 % modificado.	
			L.L. = 25 máx. I.P. = 6 máx. C.B.R. = 50 min.	L.L. = 0 I.P. = 0 C.B.R. = 68 - 152		
	Principios de Diseño de Pavimentos, Jhon Wiley & Sons, 1959	Sub-base	C.B.R. = 20 – 50 SUCS = GM, GC, GW, GP, SM, SP. AASHTO = A-1-b, A-2-5, A-3, A-2-6	C.B.R. = ≥ 68 SUCS = SW - SM AASHTO = A-1-b(0)	Tanto con los parámetros granulométricos como su resistencia mecánica este material presenta una calidad excelente para ser utilizado para este fin, manteniendo un % de compactación ≥ 90 % modificado.	
		Base	C.B.R. = > 50 SUCS = GM, GC, GW, GP, SM, SP. AASHTO = A-1-a, A-1-b, A-2-5, A-3, A-2-4, A-2-6	C.B.R. = 68 - 152 SUCS = SW - SM AASHTO = A-1-b(0)	Tanto con los parámetros granulométricos como su resistencia mecánica este material presenta una calidad buena para ser utilizado para este fin, manteniendo un % de compactación ≥ 90 % modificado.	
	ASTM D-1241	Base	Ver tabla II.4 Pag.36	Tamiz% Q.P 1" = 92 3/8" = 73 No. 4 = 55	Tamiz% Q.P No. 10 = 35 No. 40 = 18 No. 200 = 9	Según rangos granulométricos, resistencia mecánica y bajo perspectivas de plasticidad este material puede ser utilizado para dicho uso, manteniendo un % de compactación ≥ 95 % modificado, para alcanzar valores de CBR > 80 %.
L.L. = 0 I.P. = 0 C.B.R. = 110 - 152 PVSV = 1404 Kg/m3						
Laboratorios IMS	Revestimiento De Caminos	Tamiz % Q.P. 2" = 100 No. 4 = 40 – 60 No. 40 = 20 – 35 No. 200 = 8 - 15	Tamiz % Q.P. 2" = 100 No. 4 = 55 No. 40 = 18 No. 200 = 9	Según criterios de plasticidad este no puede ser utilizado para revestimientos, sin embargo cumple bajo rangos granulométricos y de resistencia mecánica manteniendo un porcentaje mínimo de compactación de 90 % modificado.		
L.L. = 40 máx. I.P. = 4 - 10 máx. C.B.R. = 30 min.		L.L. = 0 I.P. = 0 C.B.R. > 68				

CAPITULO IX: ANALISIS DE RESULTADO

Introducción

En la investigación de las propiedades ingenieriles del suelo se presentan dos aspectos de suma importancia, que el investigador Geotecnista no debe olvidar, el primero de ellos se refiere a la obtención de los resultados de las propiedades investigadas para el suelo en cuestión, las que deben ser absolutamente confiables lo cual se logra realizando los procedimientos de laboratorios adecuados y siendo sumamente cuidadosos en la ejecución de los mismos. Los resultados de las propiedades ingenieriles son expresados por medio de valores numéricos proporcionados por los ensayos realizados para la determinación de cada uno de ellas.

El segundo aspecto se relaciona a la evaluación, interpretación y uso de los resultados numéricos obtenidos de las propiedades en estudio para establecer un reordenamiento y correlación entre las mismas. Este análisis de los resultados permite tener una visión más amplia de las propiedades ingenieriles del suelo pudiendo así predecir el comportamiento de éste tanto en su estado natural como en otras condiciones.

En la presente investigación de las propiedades físicas y mecánicas de algunos bancos de material selecto y escoria volcánica, ubicados en el departamento de Managua, se realiza el análisis de los resultados obtenidos en cada uno de los bancos. Este análisis incluye una interpretación de valores cuantitativos obtenidos por los ensayos realizados para hallar cada propiedad, así como la relación existente entre las mismas, logrando por medio de todo esto caracterizar el comportamiento del material selecto y la escoria volcánica.

9.1 Banco San Isidro Libertador

Según el ensaye granulométrico realizado a las muestras obtenidas de este banco se determinó que este material presenta el 26 % de material gravoso, el 55 % de arenas y el 19 % de finos, con un tamaño máximo de 3/8". Conforme a la norma SUCS se establece que para poder determinar los coeficientes de uniformidad y curvatura el material debe poseer un porcentaje de fino menor al 10 %, de manera que por presentar un porcentaje elevado de finos (19 %) fue imposible determinar dichos coeficientes, los cuales constituirían la base para la clasificación del material como bien graduado o mal graduado. En base a los sistemas de clasificación, el HRB (AASHTO) cataloga al material dentro del subgrupo A-1-b (0), situándolo como una arena-gravosa o arena graduada que puede incluir finos; mientras que la SUCS (ASTM) describe al material como una arena limosa o SM, debido a que posee un porcentaje de finos mayor al 12 %; sin embargo el % de fracción gruesa es superior al de finos por lo que presenta características de los grupos SW aunque estos están restringidos y además no cumple con los % de finos asignados para tal clasificación; entonces no se puede encasillar a este material de una manera tan precisa mediante el método SUCS, conforme a la clasificación obtenida por el método H.R.B, este material es apto para carreteras, en lo que concierne a la construcción de capa subrasante y terraplén con una calidad excelente.

Al material se le realizaron dos ensayos de gravedad específica por muestra, obteniéndose valores de 2.28, 2.26 y 2.29 (datos promedios), notándose una permisible variación entre ellos, dichas diferenciaciones se debieron al manejo del material al momento de su expulsión de aire, su constitución de finos, cambios de temperatura, pérdida mínima de material al momento de introducirlo al matraz; de manera que resulta para la gravedad específica un valor promedio de 2.28, cuya ubicación en la tabla III.3 *de densidad de los suelos* es dentro del grupo de suelos de origen volcánico; aunque las características físicas y mecánicas de este material no se adecúan a tal denominación, por lo que se deduce la presencia de pequeños conjuntos de origen volcánico lo cual se debe al punto de localización

del banco. La presencia de esto influye en la capacidad de soporte del suelo en estado natural, pues la gravedad específica de un suelo se toma como el valor promedio para los granos de un suelo. Este valor es necesario para calcular la relación de vacíos de un suelo, la que a su vez es utilizada comúnmente para definir la densidad de la muestra.

Para el ensaye de pesos volumétricos se realizaron tres repeticiones para peso volumétrico seco suelto y seco varillado con el fin de obtener una media aritmética por medio de la cual obtuvimos mayor precisión en la obtención de los datos, estos fueron de 1,247.0 y 1,416.0 Kg/m³, seco suelto y seco varillado respectivamente, datos importantes de conocer para poder calcular la presión de tierra o la producida por sobrecargas según libro de Cimentaciones, en nuestro caso por la exposición que tendrán estos materiales a las sobrecargas. Los valores obtenidos fueron bajos debido a la presencia del material volcánico, lo cual los hace ser menos densos, poseyendo en ese momento una elevada porosidad por estar en estado natural, lo que posteriormente cambia al efectuarse la compactación.

Para la determinación de los límites de Atterberg se realizó primeramente el ensaye para el límite líquido, observándose al momento de formar la mezcla, poca pastosidad y al colocarlo en la copa de Casa Grande y querer formar la ranura trapezoidal este material se desprendía, por lo que no había adherencia entre sus granos por ser un material arenoso, dichos factores hicieron imposible la realización del ensaye; pese a esto se decidió tratar de determinar el límite plástico, comprobando su comportamiento al notar que fue imposible obtener los rollitos de 3 mm, pues la masa ensayada se rompía; probándose con diferentes contenidos de agua al intentar realizar el ensaye de límite plástico; fenómeno debido a la completa falta de resistencia a la tensión del material.

Para la compactación de tipo mecánico se realizaron ensayes de Proctor Estándar y Proctor Modificado, para determinar la relación que posee el material entre el contenido de agua y el peso volumétrico seco. En la realización del Proctor

Estándar se observó una considerable manejabilidad del material conforme se incrementaba la humedad y se compactaba la muestra, lográndose confirmar la presencia de material volcánico al momento de desbaratar los terrones de material, con todo esto se logró realizar una buena compactación al material, resultando un valor de densidad máxima promedio de $1,442.0 \text{ Kg/m}^3$ con una humedad óptima del 21 %, debiendo adicionarse una cantidad de agua de 69 gal/m^3 . Mientras que el Proctor Modificado por poseer un incremento en su energía de compactación, de casi 4.5 veces mayor a la del estándar, presenta obviamente una densidad volumétrica mayor de $1,556.0 \text{ Kg/m}^3$ con una humedad óptima de 18.7 % para lo cual se requerirá 61 gal/m^3 una vez colocado este material en obra para ser compactado; garantizándose su estabilidad puesto que el suelo ya ha sido dotado de una capacidad resistente. De hecho para suelos de este tipo de clasificación los valores de densidades secas máximas entre estándar y modificado no distinguen enormes elevaciones entre ellos, ya que para suelos finos muy plásticos se alcanzan valores de densidades secas máximas mayores en el ensaye Modificado que en el Estándar, siendo pequeño con materiales granulares bien graduados.

En la obtención de los factores de enjuntamiento y abundamiento se utilizó como densidad de banco el peso volumétrico seco varillado por considerar que dicha densidad es semejante a la compacidad de estos materiales en estado natural; en el caso del factor de enjuntamiento se determinaron valores 0.98 y 0.91 correspondientes a la energía de compactación Proctor Estándar y Proctor Modificado respectivamente, la variación entre los mismos es debido a la variación de sus correspondientes energías de compactación; el factor de abundamiento para este material es de 1.14, comprendido dentro de los rangos (1.07-1.17), que generalmente presentan las arenas y las gravas.

Es importante mencionar que en la compactación, en base a la gravedad específica, se evaluó los porcentajes de poros que posee el material a su máxima densidad, así como su relación de vacíos y grado de saturación proporcionando valores de 37 %, 0.58 y 83 %, respectivamente para Proctor Estándar; y de 32,

0.47 y 91 %, respectivamente para Proctor Modificado, por lo que se observa en este material que cuanto mayor es la densidad seca menor es la relación de vacíos, así como su porosidad, dicha densidad seca se alcanza al 83 % y 91 % de saturación de este material.

Para este material se llevo a cabo el ensaye de CBR tomando en consideración tanto el Proctor Estándar como el Proctor Modificado para determinar su capacidad soporte en estos dos estados; de hecho muchos de los proyectos de carretera requieren valores de CBR de diseño para 90, 95 y 100 % de compactación, de manera que se establecen estos valores mediante la gráfica (% CBR Vs % Compactación), hallándose valores de 39, 48 y 57; donde las *tablas II.9 y II.10 clasificación y uso de suelos según el valor de CBR*, indica una buena calidad de suelo para sub-base a través del método estándar. De igual forma se obtuvieron valores CBR de 46, 89 y 132 para el método modificado, cuyos valores al ser comparados en las *tablas II.9 y II.10*, indican porcentajes de buenos a excelentes para capa base, lográndose alcanzar densidades secas máximas aceptables tanto estándar como modificadas. Aunque no se obtuvieron valores cuantificables de CBR para subrasante puesto que los obtenidos están por encima de los valores correspondientes a esta clasificación, este material si puede ser utilizado para tal fin, según sea la demanda del proyecto.

Con respecto al comportamiento que presentó el material referente a las propiedades expansivas (hinchamiento), notamos que no hubo una gran variación en el transcurso de las lecturas tomadas durante el tiempo de sumersión, obteniendo un hinchamiento máximo del 0.02 %, lo que nos deja ver que este material en situaciones críticas demuestra una buena estabilidad volumétrica en comparación con otros tipos de materiales que llegan a poseer un hinchamiento del 5 % a más.

Es un material no cohesivo aunque presente una porción considerable de finos, las especificaciones norteamericanas evalúan a este suelo, en cuanto a sus usos, como un material apto para terraplén puesto que fue un suelo fácil de compactar,

garantizándose su resistencia a la deformación, además de presentar poca sensibilidad a las variaciones de humedad (especialmente en lo referente a cambios de volumen), de hecho por ser un suelo granular de granulometría continua con una proporción considerable de finos lo hace deseable para terraplén, pues las arenas uniformes sin finos son difíciles de compactar y en estado suelto son mucho más compresibles que las compactas, es decir que sus partículas están desacomodadas debido a la ausencia de compactación.

9.2 Banco La Veta Internacional

9.2.1 Material Gris Oscuro

Según los ensayos granulométricos realizados a la muestra obtenida de este banco se determinó que este material presenta el 18 % de material gravoso, el 73 % de arenas y el 9 % de finos, con un tamaño máximo de 3/8". Conforme a la norma SUCS se establece que para poder determinar los coeficientes de uniformidad (C_u) y curvatura (C_c) el material debe poseer un porcentaje de fino menor al 10 %, de manera que por presentar un porcentaje bajo de finos (9 %) fue posible determinar dichos coeficientes, los cuales establecen valores para C_u de 12 y C_c de 3.5 cuya clasificación prevalece por el coeficiente de curvatura como arena mal graduada, ya que para este tipo de clasificación C_u debe ser mayor de 6 y (C_c) debe de encontrarse entre 1-3 para ser una arena bien graduada. En base a los sistemas de clasificación, el HRB (AASHTO) ubica al material dentro del subgrupo A-1-b (0), situándolo como una arena-gravosa o arena graduada que puede incluir finos; en tanto el sistema SUCS (ASTM) establece el uso de símbolos dobles (SM-SP), pues la clasificación es indeterminada porque los finos se ubican dentro del rango de 5 y 12 % (9 %), describiéndose al material como una arena limosa, arena mal graduada, arena con grava con poco o nada de fino; conforme a la clasificación obtenida por el método H.R.B, el material es apto para carreteras, en lo que concierne a la construcción de capa subrasante y terraplén con una calidad excelente.

Al material se le realizaron dos ensayos de gravedad específica para esta muestra, obteniéndose valores iguales a 2.67 corroborándose la precisión del ensaye, siendo éste el valor promedio de gravedad específica de los dos ensayos realizados, cuya ubicación en la tabla III.3 *de densidad de los suelos* es dentro del grupo de arenas y gravas; dichas características físicas y mecánicas de este material se adecúan a tal denominación. Este valor es necesario para calcular la relación de vacíos de un suelo, la que a su vez es utilizada comúnmente para definir la densidad de la muestra.

Para el ensaye de pesos volumétricos se realizaron tres repeticiones para peso volumétrico seco suelto y seco varillado con el fin de obtener una media aritmética por medio de la cual obtuvimos mayor precisión en la obtención de los datos, estos fueron de 1,490.0 y 1,587.0 Kg/m³, seco suelto y seco varillado respectivamente, observando un leve aumento en correspondencia a los pesos volumétricos del banco San Isidro. Estos valores son altos debido a la considerable presencia de arena, lo cual los hace ser más densos, resultando una baja porosidad al momento de efectuarse la compactación.

Para la determinación de los límites de Atterberg se realizó primeramente el ensaye para el límite líquido, observándose al momento de formar la mezcla, poca pastosidad y al colocarlo en la copa de Casa Grande y querer formar la ranura trapezoidal este material se desprendía, por lo que no había adherencia entre sus granos por ser un material arenoso, dichos factores hicieron imposible la realización del ensaye; pese a esto se decidió tratar de determinar el límite plástico, comprobando su comportamiento al notar que fue imposible obtener los rollitos de 3 mm, pues la masa ensayada se rompía; probándose con diferentes contenidos de agua al intentar realizar el ensaye de límite plástico; fenómeno debido a la completa falta de resistencia a la tensión del material.

Para la compactación de tipo mecánico se realizaron ensayos de Proctor Estándar y Proctor Modificado, para determinar la relación que posee el material entre el contenido de agua y el peso volumétrico seco. En la realización del Proctor

Estándar se observó una tequiosa manejabilidad del material conforme se incrementaba la humedad y se compactaba la muestra, provocando una inestabilidad dado que el material es arenoso, resultando un valor de densidad máxima promedio de $1,813.0 \text{ Kg/m}^3$ con una humedad óptima del 14.8 %, debiendo adicionarse una cantidad de agua de 58 gal/m^3 . Mientras que el Proctor Modificado por poseer un incremento en su energía de compactación, de casi 4.5 veces mayor a la del estándar, presenta obviamente una densidad volumétrica mayor de $1,916.0 \text{ Kg/m}^3$ con una humedad optima de 13.2 % para lo cual se requerirá 52 gal/m^3 una vez colocado este material en obra para ser compactado; garantizándose su estabilidad puesto que el suelo ya ha sido dotado de una capacidad resistente. De hecho para suelos de este tipo de clasificación los valores de densidades secas máximas entre estándar y modificado no distinguen enormes elevaciones entre ellos, ya que para suelos finos muy plásticos se alcanzan valores de densidades secas máximas mayores en el ensaye Modificado que en el Estándar, siendo pequeño con materiales granulares bien graduados.

En la obtención de los factores de enjuntamiento y abundamiento se utilizó como densidad de banco el peso volumétrico seco varillado por considerar que dicha densidad es semejante a la compacidad de estos materiales en estado natural; en el caso del factor de enjuntamiento se determinaron valores 0.88 y 0.83 correspondientes a la energía de compactación Proctor Estándar y Proctor Modificado respectivamente, la variación entre los mismos es debido a la variación de sus correspondientes energías de compactación; el factor de abundamiento para este material es de 1.07, comprendido dentro de los rangos (1.07-1.17), que generalmente presentan las arenas y las gravas.

Es importante mencionar que en la compactación, en base a la gravedad específica, se evaluó los porcentajes de poros que posee el material a su máxima densidad, así como su relación de vacíos y grado de saturación proporcionando valores de 32 %, 0.47 y 84 %, respectivamente para Proctor Estándar; y de 28, 0.39 y 90 %, respectivamente para Proctor Modificado, por lo que se observa en este material que cuanto mayor es la densidad seca menor es la relación de

vacios, así como su porosidad, dicha densidad seca se alcanza al 84 % y 90 % de saturación de este material.

Para este material se llevo a cabo el ensaye de CBR tomando en consideración tanto el Proctor Estándar como el Proctor Modificado para determinar su capacidad soporte en estos dos estados; de hecho muchos de los proyectos de carretera requieren valores de CBR de diseño para 90, 95 y 100 % de compactación, de manera que se establecen estos valores mediante la gráfica (% CBR Vs % Compactación), hallándose valores de 34, 52 y 69; donde las *tablas II.9 y II.10 clasificación y uso de suelos según el valor de CBR*, indica una buena calidad de suelo para sub-base a través del método estándar. De igual forma se obtuvieron valores CBR de 51, 89 y 126 para el método modificado, cuyos valores al ser comparados en la *tabla II.9 y II.10*, indican porcentajes excelentes para capa base, lográndose alcanzar densidades secas máximas aceptables tanto estándar como modificadas. Aunque no se obtuvieron valores cuantificables de CBR para subrasante puesto que los obtenidos están por encima de los valores correspondientes a esta clasificación, este material si puede ser utilizado para tal fin, según sea la demanda del proyecto.

Con respecto al comportamiento que presento el material referente a las propiedades expansivas (hinchamiento), notamos que no hubo una gran variación en el transcurso de las lecturas tomadas durante el tiempo de sumersión, obteniendo un hinchamiento máximo del 0.02 %, lo que nos deja ver que este material en situaciones críticas demuestra una buena estabilidad volumétrica en comparación con otros tipos de materiales que llegan a poseer un hinchamiento del 5 % a más.

Es un material no cohesivo aunque presente una porción considerable de finos, las especificaciones norteamericanas evalúan a este suelo, en cuanto a sus usos, como un material apto para terraplén garantizándose su resistencia a la deformación, además de presentar poca sensibilidad a las variaciones de humedad (especialmente en lo referente a cambios de volumen).

9.2.2 Material Gris Claro

Según los ensayos granulométricos realizados a la muestra obtenida de este banco se determinó que este material presenta el 3 % de material gravoso, el 75 % de arenas y el 22 % de finos, con un tamaño máximo de N^o 10. Conforme a la norma SUCS se establece que para poder determinar los coeficientes de uniformidad (C_u) y curvatura (C_c) el material debe poseer un porcentaje de fino menor al 10 %, de manera que por presentar un porcentaje alto de finos (22 %) fue imposible determinar dichos coeficientes. En base a los sistemas de clasificación, el HRB (AASHTO) ubica al material dentro del subgrupo A-1-b (0), situándolo como una arena-gravosa o arena graduada que puede incluir finos; en tanto el sistema SUCS (ASTM) establece al material como una arena limosa (SM), debido a que posee un porcentaje de finos mayor al 12 %; conforme a la clasificación obtenida por el método H.R.B, el material es apto para carreteras, en lo que concierne a la construcción de capa subrasante y terraplén con una calidad excelente.

Al material se le realizaron dos ensayos de gravedad específica para esta muestra, obteniéndose valores de 2.67 y 2.68, de manera que el valor promedio para la gravedad específica es de 2.68, cuya ubicación en la tabla III.3 *de densidad de los suelos* es dentro del grupo de arenas y gravas; dichas características físicas y mecánicas de este material se adecúan a tal denominación. Este valor es necesario para calcular la relación de vacíos de un suelo, la que a su vez es utilizada comúnmente para definir la densidad de la muestra.

Para el ensayo de pesos volumétricos se realizaron tres repeticiones para peso volumétrico seco suelto y seco varillado con el fin de obtener una media aritmética por medio de la cual obtuvimos mayor precisión en la obtención de los datos, estos fueron de 1,573.0 y 1,703.0 Kg/m³, seco suelto y seco varillado respectivamente, observando un leve aumento en correspondencia a los pesos volumétricos del material gris oscuro. Estos valores son altos debido a la

considerable presencia de arena, lo cual los hace ser mucho más densos, resultando una baja porosidad al momento de efectuarse la compactación, notando que este presenta mejores características que el material anterior a pesar de estar ubicados, ambos materiales, en el mismo banco.

Para la determinación de los límites de Atterberg se realizó primeramente el ensaye para el límite líquido, observándose al momento de formar la mezcla, poca pastosidad y al colocarlo en la copa de Casa Grande y querer formar la ranura trapezoidal este material se desprendía, por lo que no había adherencia entre sus granos por ser un material arenoso, dichos factores hicieron imposible la realización del ensaye; pese a esto se decidió tratar de determinar el límite plástico, comprobando su comportamiento al notar que fue imposible obtener los rollitos de 3 mm, pues la masa ensayada se rompía; probándose con diferentes contenidos de agua al intentar realizar el ensaye de límite plástico; fenómeno debido a la completa falta de resistencia a la tensión del material.

Para la compactación de tipo mecánico se realizaron ensayes de Proctor Estándar y Proctor Modificado, para determinar la relación que posee el material entre el contenido de agua y el peso volumétrico seco. En la realización del Proctor Estándar se observó una tequiosa manejabilidad del material conforme se incrementaba la humedad y se compactaba la muestra, provocando una inestabilidad dado que el material es arenoso, resultando un valor de densidad máxima promedio de $1,809.0 \text{ Kg/m}^3$ con una humedad óptima del 14.8 %, debiendo adicionarse una cantidad de agua de 61 gal/m^3 . Mientras que el Proctor Modificado por poseer un incremento en su energía de compactación, de casi 4.5 veces mayor a la del estándar, presenta obviamente una densidad volumétrica mayor de $1,923.0 \text{ Kg/m}^3$ con una humedad óptima de 12.9 % para lo cual se requerirá 53 gal/m^3 una vez colocado este material en obra para ser compactado; garantizándose su estabilidad puesto que el suelo ya ha sido dotado de una capacidad resistente. De hecho para suelos de este tipo de clasificación los valores de densidades secas máximas entre estándar y modificado no distinguen enormes elevaciones entre ellos, ya que para suelos finos muy plásticos se

alcanzan valores de densidades secas máximas mayores en el ensaye Modificado que en el Estándar, siendo pequeño con materiales granulares bien graduados.

En la obtención de los factores de enjuntamiento y abundamiento se utilizó como densidad de banco el peso volumétrico seco varillado por considerar que dicha densidad es semejante a la compacidad de estos materiales en estado natural; en el caso del factor de enjuntamiento se determinaron valores 0.94 y 0.89 correspondientes a la energía de compactación Proctor Estándar y Proctor Modificado respectivamente, la variación entre los mismos es debido a la variación de sus correspondientes energías de compactación; el factor de abundamiento para este material es de 1.08, comprendido dentro de los rangos (1.07-1.17), que generalmente presentan las arenas y las gravas.

Es importante mencionar que en la compactación, en base a la gravedad específica, se evaluó los porcentajes de poros que posee el material a su máxima densidad, así como su relación de vacíos y grado de saturación proporcionando valores de 32 %, 0.48 y 83 %, respectivamente para Proctor Estándar; y de 28, 0.39 y 89 %, respectivamente para Proctor Modificado, por lo que se observa en este material que cuanto mayor es la densidad seca menor es la relación de vacíos, así como su porosidad, dicha densidad seca se alcanza al 83 % y 89 % de saturación de este material.

Para este material se llevo a cabo el ensaye de CBR tomando en consideración tanto el Proctor Estándar como el Proctor Modificado para determinar su capacidad soporte en estos dos estados; de hecho muchos de los proyectos de carretera requieren valores de CBR de diseño para 90, 95 y 100 % de compactación, de manera que se establecen estos valores mediante la gráfica (% CBR Vs % Compactación), hallándose valores de 32, 53 y 74; donde las *tablas II.9 y II.10 clasificación y uso de suelos según el valor de CBR*, indica una buena calidad de suelo para sub-base a través del método estándar. De igual forma se obtuvieron valores CBR de 66, 104 y 141 para el método modificado, cuyos valores al ser comparados en la *tabla II.9 y II.10*, indican porcentajes excelentes

para capa base, lográndose alcanzar densidades secas máximas aceptables tanto estándar como modificadas. Aunque no se obtuvieron valores cuantificables de CBR para subrasante puesto que los obtenidos están por encima de los valores correspondientes a esta clasificación, este material si puede ser utilizado para tal fin, según sea la demanda del proyecto.

Con respecto al comportamiento que presento el material referente a las propiedades expansivas (hinchamiento), notamos que no hubo una gran variación en el transcurso de las lecturas tomadas durante el tiempo de sumersión, obteniendo un hinchamiento máximo del 0.01 %, lo que nos deja ver que este material en situaciones críticas demuestra una buena estabilidad volumétrica en comparación con otros tipos de materiales que llegan a poseer un hinchamiento del 5 % a más.

Como podemos apreciar este material presenta valores superiores en cuanto a propiedades físicas y mecánicas referidas al material gris oscuro por lo cual consideramos al material gris claro como un material que brindaría un eficiente desempeño en su uso como capa base para carreteras, debido a que posee mayores capacidades de soporte por consiguiente mejor resistencia al esfuerzo cortante.

9.3 Banco Sandino

Según los ensayos granulométricos realizados a la muestra obtenida de este banco se determinó que este material presenta el 12 % de material gravoso, el 72 % de arenas y el 16 % de finos, con un tamaño máximo de N^o 4. Conforme a la norma SUCS se establece que para poder determinar los coeficientes de uniformidad (C_u) y curvatura (C_c) el material debe poseer un porcentaje de fino menor al 10 %, de manera que por presentar un porcentaje alto de finos (16 %) fue imposible determinar dichos coeficientes. En base a los sistemas de clasificación, el HRB (AASHTO) ubica al material dentro del subgrupo A-1-b (0), situándolo como una arena-gravosa o arena graduada que puede incluir finos; en tanto el sistema SUCS (ASTM) establece al material como una arena limosa (SM),

debido a que posee un porcentaje de finos mayor al 12 %; conforme a la clasificación obtenida por el método H.R.B, el material es apto para carreteras, en lo que concierne a la construcción de capa subrasante y terraplén con una calidad excelente.

Al material se le realizaron dos ensayos de gravedad específica, obteniéndose un valor promedio de 2.68, cuya ubicación en la tabla III.3 *de densidad de los suelos* es dentro del grupo de arena limosa; dichas características físicas y mecánicas de este material se adecúan a tal denominación, porque según los sistemas de clasificación lo ubican como un material donde prevalece más la arena con inclusión de fino, debido a su constitución granulométrica. Este valor es necesario para calcular la relación de vacíos de un suelo, la que a su vez es utilizada comúnmente para definir la densidad de la muestra.

Para el ensaye de pesos volumétricos se realizaron tres repeticiones para peso volumétrico seco suelto y seco varillado con el fin de obtener una media aritmética por medio de la cual obtuvimos mayor precisión en la obtención de los datos, estos fueron de 1,568.0 y 1,701.0 Kg/m³, seco suelto y seco varillado respectivamente. Estos valores son altos debido a la considerable presencia de arena, lo cual los hace ser mucho más densos, resultando una baja porosidad al momento de efectuarse la compactación.

Para la determinación de los límites de Atterberg se realizó primeramente el ensaye para el límite líquido, observándose al momento de formar la mezcla, poca pastosidad y al colocarlo en la copa de Casa Grande y querer formar la ranura trapezoidal este material se desprendía, por lo que no había adherencia entre sus granos por ser un material arenoso, dichos factores hicieron imposible la realización del ensaye; pese a esto se decidió tratar de determinar el límite plástico, comprobando su comportamiento al notar que fue imposible obtener los rollitos de 3 mm, pues la masa ensayada se rompía; probándose con diferentes contenidos de agua al intentar realizar el ensaye de límite plástico; fenómeno debido a la completa falta de resistencia a la tensión del material.

Para la compactación de tipo mecánico se realizaron ensayos de Proctor Estándar y Proctor Modificado, para determinar la relación que posee el material entre el contenido de agua y el peso volumétrico seco.

En la realización del Proctor Estándar se observó una tequiosa manejabilidad del material conforme se incrementaba la humedad y se compactaba la muestra, provocando una inestabilidad dado que el material es arenoso, resultando un valor de densidad máxima promedio de $1,851.0 \text{ Kg/m}^3$ con una humedad óptima del 14.3 %, debiendo adicionarse una cantidad de agua de 59 gal/m^3 . Mientras que el Proctor Modificado por poseer un incremento en su energía de compactación, de casi 4.5 veces mayor a la del estándar, presenta obviamente una densidad volumétrica mayor de $1,944.0 \text{ Kg/m}^3$ con una humedad optima de 12.6 % para lo cual se requerirá 52 gal/m^3 una vez colocado este material en obra para ser compactado; garantizándose su estabilidad puesto que el suelo ya ha sido dotado de una capacidad resistente. De hecho para suelos de este tipo de clasificación los valores de densidades secas máximas entre estándar y modificado no distinguen enormes elevaciones entre ellos, ya que para suelos finos muy plásticos se alcanzan valores de densidades secas máximas mayores en el ensaye Modificado que en el Estándar, siendo pequeño el valor de la densidad seca máxima en materiales granulares bien o mal graduados.

En la obtención de los factores de enjuntamiento y abundamiento se utilizó como densidad de banco el peso volumétrico seco varillado por considerar que dicha densidad es semejante a la compacidad de estos materiales en estado natural; en el caso del factor de enjuntamiento se determinaron valores 0.92 y 0.88 correspondientes a la energía de compactación Proctor Estándar y Proctor Modificado respectivamente, la variación entre los mismos es debido a la variación de sus correspondientes energías de compactación; el factor de abundamiento para este material es de 1.08, comprendido dentro de los rangos (1.07-1.17), que generalmente presentan las arenas y las gravas.

Es importante mencionar que en la compactación, en base a la gravedad específica, se evaluó los porcentajes de poros que posee el material a su máxima densidad, así como su relación de vacíos y grado de saturación proporcionando valores de 31 %, 0.45 y 85 %, respectivamente para Proctor Estándar; y de 28, 0.38 y 89 %, respectivamente para Proctor Modificado, por lo que se observa en este material que cuanto mayor es la densidad seca menor es la relación de vacíos, así como su porosidad, dicha densidad seca se alcanza al 85 % y 89 % de saturación de este material.

Para este material se llevo a cabo el ensaye de CBR tomando en consideración tanto el Proctor Estándar como el Proctor Modificado para determinar su capacidad soporte en estos dos estados; de hecho muchos de los proyectos de carretera requieren valores de CBR de diseño para 90, 95 y 100 % de compactación, de manera que se establecen estos valores mediante la gráfica (% CBR Vs % Compactación), hallándose valores de 28, 42 y 56; donde las *tablas II.9 y II.10 clasificación y uso de suelos según el valor de CBR*, indica una buena calidad de suelo para subbase a través del método estándar. De igual forma se obtuvieron valores CBR de 66, 99 y 133 para el método modificado, cuyos valores al ser comparados en la *tabla II.9 y II.10*, indican porcentajes excelentes para capa base al 100 % Proctor Estándar y en los diferentes porcentajes del Proctor Modificado, lográndose alcanzar densidades secas máximas aceptables. También se obtuvieron valores de CBR para subrasante muy buenos al 90 % de compactación Proctor estándar, según sea la demanda del proyecto.

Con respecto al comportamiento que presento el material referente a las propiedades expansivas (hinchamiento), notamos que no hubo una gran variación en el transcurso de las lecturas tomadas durante el tiempo de sumersión, obteniendo un hinchamiento máximo del 0.02 %, lo que nos deja ver que este material en situaciones críticas demuestra una buena estabilidad volumétrica en comparación con otros tipos de materiales que llegan a poseer un hinchamiento del 5 % a más.

9.4 Banco Cerro Talpetate

En este Banco se encontraron dos tipos de escoria volcánica a los que designamos como hormigón mixto y hormigón negro, para poder distinguir y analizar cada uno de ellos.

Del ensaye granulométrico realizado a la muestra de escoria mixta del banco resulto un 79 % de material gravoso, 19 % de arenas y 2 % de finos, con un tamaño máximo de $\frac{3}{4}$ ". Conforme a la norma SUCS se establece que para poder determinar los coeficientes de uniformidad (C_u) y curvatura (C_c) el material debe poseer un porcentaje de fino menor al 10 %, una vez obtenida esta condición entonces se calcularon los valores, obteniéndose un coeficiente de uniformidad de 6 y un coeficiente de curvatura de 3, de modo que como el C_u es mayor que 4 y C_c esta entre 1 y 3 se clasifica a este material como una grava bien graduada, o que posee una buena distribución de los diámetros de las partículas. Conforme al sistema SUCS (ASTM) se establece al material como una grava bien graduada, mezcla de grava y arena, con poco o nada de finos (GW), debido a que posee un porcentaje de finos menor al 5 % y según el sistema de clasificación HRB (AASHTO) ubica al material dentro del subgrupo A-1-a, describiendo este material como grava o arena de buena graduación que puede incluir finos.

Al material se le realizaron dos ensayes de gravedad específica, obteniéndose un valor promedio de 2.29, cuya ubicación en la tabla III.3 *de densidad de los suelos* se sitúa en el grupo de suelos de origen volcánico, dato característico de este tipo de formaciones. Conociendo este valor calculamos la relación de vacíos de un suelo, la que a su vez es utilizada comúnmente para definir la densidad de la muestra.

Para el ensaye de pesos volumétricos se realizaron tres repeticiones para peso volumétrico seco suelto y seco varillado con el fin de obtener una media aritmética por medio de la cual obtuvimos mayor precisión en la obtención de los datos, estos fueron de 997.0 y 1,091.0 Kg/m³, seco suelto y seco varillado respectivamente. Estos valores son bajos debido a que el material por ser de

origen volcánico tiene la propiedad de ser menos denso por el contenido de poros presentes en los granos.

En este caso en particular nos restringimos a determinar únicamente el valor de abundamiento, debido a que las escorias volcánicas no son utilizadas como material para la formación de capas compactas, que pudieran formar parte como estructura de pavimento o estructura de terracería; resultando de interés únicamente el factor de abundamiento el cual tiene un valor de 1.09, comprendido dentro de los rangos (1.07-1.17), correspondientes a la descripción de las arenas y las gravas.

Del ensaye granulométrico realizado a la muestra de escoria negra del banco resulto un 75 % de material gravoso y 25 % de arenas, con un tamaño máximo de 2". Se obtuvo un coeficiente de uniformidad de 7 y un coeficiente de curvatura de 4, de modo que como el C_u es mayor que 4 y C_c es superior al rango estipulado entre 1 y 3, se clasifica a este material como una grava mal graduada. Conforme al sistema SUCS (ASTM) se establece al material como una grava mal graduada, mezcla de grava y arena, con poco o nada de finos (GP) y según el sistema de clasificación HRB (AASHTO) ubica al material dentro del subgrupo A-1-a, describiendo este material como mayormente grava, pero puede incluir arena y finos.

Al material se le realizaron dos ensayos de gravedad específica, obteniéndose un valor promedio de 2.29, cuya ubicación en la tabla III.3 *de densidad de los suelos* se sitúa en el grupo de cenizas volcánicas, dato característico de este tipo de formaciones. Conociendo este valor calculamos la relación de vacíos de un suelo, la que a su vez es utilizada comúnmente para definir la densidad de la muestra.

Para el ensaye de pesos volumétricos se realizaron tres repeticiones para peso volumétrico seco suelto y seco varillado con el fin de obtener una media aritmética por medio de la cual obtuvimos mayor precisión en la obtención de los datos, estos fueron de 919.0 y 1,022.0 Kg/m³, seco suelto y seco varillado respectivamente. Estos valores son bajos debido a que el material por ser de

origen volcánico tiene la propiedad de ser menos denso por el alto contenido de poros presentes en los granos.

En este caso en particular nos restringimos a determinar únicamente el valor de abundamiento, debido a que las escorias volcánicas no son utilizadas como material para la formación de capas compactas, que pudieran formar parte como estructura de pavimento o estructura de terracería; resultando de interés únicamente el factor de abundamiento el cual tiene un valor de 1.11, comprendido dentro de los rangos (1.07-1.17), correspondientes a la descripción de las arenas y las gravas.

9.5 Mezclas

9.5.1 40 % Selecto – 60 % Hormigón

Del análisis granulométrico realizado para esta mezcla se presenta el 54 % de material gravoso, el 39 % de arenas y el 7 % de finos, es una mezcla bien graduada a partir de los coeficientes de uniformidad y de curvatura, cuyos valores son 86 y 1.6 respectivamente, representado por un tamaño máximo de $\frac{3}{4}$ ", de la curva obtenida en la gráfica granulométrica se aprecia un buen comportamiento de los materiales presentando una buen acomodo de las partículas pequeñas del material selecto en la escoria; objetivo logrado pues al mezclar suelos de grano grueso como es la escoria con suelos de grano fino como el selecto, los granos grueso se reacomodaban con los suelos de granos finos reduciendo la relación de vacío de la escoria, lográndose una reducción en la permeabilidad, puesto que en estos momentos el material selecto actúa como un agente cementante llenando los poros de la escoria. Según la clasificación HRB esta mezcla se ubica dentro del subgrupo A-1-a (0) lo que indica una grava de buena graduación que puede incluir arena y finos, cuyo uso en una obra es de calidad excelente como subrasante; mientras que la clasificación SUCS sitúa a la mezcla dentro de una categorización indeterminada de símbolos dobles (GW-GM) lo que indica una grava bien graduada con presencia de arena y con poco o nada de finos.

Al material se le realizaron dos ensayos de gravedad específica, obteniéndose un valor promedio de 2.37, cuya ubicación en la tabla III.3 *de densidad de los suelos* es dentro del grupo de suelos de origen volcánico, debido al alto contenido de escoria volcánica. Este valor es indispensable para calcular la relación de vacíos de un suelo, la que a su vez es utilizada comúnmente para definir la densidad de la muestra.

Para el ensayo de pesos volumétricos se realizaron también tres repeticiones para peso volumétrico seco suelto y seco varillado con el fin de obtener una media aritmética por medio de la cual obtuvimos mayor precisión en la obtención de los datos, los cuales fueron de 1,194.0 y 1,313.0 Kg/m³, seco suelto y seco varillado respectivamente. Estos valores no son muy altos debido a la presencia considerable de escoria volcánica, en comparación del suelto al varillado, de lo cual resulta una porosidad alta. El peso volumétrico varillado está dentro de los límites establecidos puesto que la norma ASTM – 1241 sugiere 1,120.0 Kg/m³ como mínimo.

Para la determinación de los límites de Atterberg se realizó primeramente el ensayo para el límite líquido, observándose al momento de formar la mezcla, poca pastosidad y al colocarlo en la copa de Casa Grande y querer formar la ranura trapezoidal este material se desprendía, por lo que no había adherencia entre sus granos por ser un material arenoso, dichos factores hicieron imposible la realización del ensayo; pese a esto se decidió tratar de determinar el límite plástico, comprobando su comportamiento al notar que fue imposible obtener los rollitos de 3 mm, pues la masa ensayada se rompía; probándose con diferentes contenidos de agua al intentar realizar el ensayo de límite plástico; fenómeno debido a la completa falta de resistencia a la tensión del material.

Para la compactación de tipo mecánico se realizó Proctor Modificado, hallándose una densidad volumétrica de 1,628.0 Kg/m³ con una humedad óptima de 18.1 % para lo cual se requerirá 57 gal/m³ una vez colocado este material en obra para ser compactado; y luego de esto se habrá garantizado la estabilidad volumétrica

del suelo, obteniendo una capacidad soporte esperada. Es importante mencionar que en la compactación, en base a la gravedad específica, se evaluó los porcentajes de poros que posee el material a su máxima densidad, así como su relación de vacíos y grado de saturación proporcionando valores de 32 %, 0.46 y 93 %, respectivamente para Proctor Modificado, dicha densidad seca máxima se alcanza al 93 % de saturación de este material.

Para la obtención de los factores de enjuntamiento y abundamiento se utilizó como densidad de banco el peso volumétrico varillado por ser el más semejante a la condición en que este tipo de materiales podrían encontrarse en la naturaleza; se determinó un factor de enjuntamiento para una densidad correspondiente a la energía de compactación Proctor Modificado, debido a que estas mezclas son utilizadas exclusivamente para estructuras de pavimento en donde las especificaciones técnicas exigen un proceso de compactación Proctor modificado; el valor de enjuntamiento para esta condición es de 0.81; el factor de abundamiento para la mezcla en las proporciones indicadas es de 1.10.

En el ensaye de CBR con los datos obtenidos del método Modificado se obtuvieron los valores de CBR de diseño para 90, 95 y 100 % de compactación mediante la gráfica (% CBR Vs % Compactación), hallándose valores de 57, 91 y 125; donde las *tablas II.9 y II.10 clasificación y uso de suelos según el valor de CBR*, indica que los valores de CBR para esta mezcla son satisfactorios al 100 % de compactación para base obteniéndose un resultado de 125, así mismo se obtuvo resultado grato de CBR para sub-base al 95 % de compactación de 91, de igual forma para revestimientos aunque los valores de CBR a 100 % de compactación están dentro del rango estipulado por la norma, la granulometría no es la mejor; ya que los valores obtenidos para los porcentajes que pasan, están por debajo de los normados.

Con respecto al comportamiento que presenta el material referente a las propiedades expansivas (hinchamiento), notamos que no hubo una gran variación en el transcurso de las lecturas tomadas durante el tiempo de sumersión,

obteniendo un hinchamiento máximo del 0.01 %, lo que nos deja ver que este material en situaciones críticas demuestra una buena estabilidad volumétrica en comparación con otros, también en el espécimen de mayor número de golpes, se observó al momento de realizar la resistencia a la penetración la dificultad del pistón al instante de penetrar el material compactado debido a que este poseía una energía de compactación bastante alta presentando mayores resistencia a la penetración y también menores deformaciones.

Según las especificaciones técnicas ASTM D-1241 para base, esta mezcla cumple en su graduación para ser de tipo B y para revestimiento de camino se clasifica en tipo C. ver tabla II.5; sin embargo, para revestimiento esta mezcla no resulta ser una opción viable, dado que su IP debería situarse entre 4 y 10 máximo y en vista que el material es NP (No Plástico) éste valor se hace cero, entonces sería riesgoso utilizarlo, puesto que sería un material altamente erosionable ante la exposición de los agentes exógenos.

9.5.2 60 % Selecto – 40 % Hormigón

Del análisis granulométrico realizado para esta mezcla se presenta el 45 % de material gravoso, el 46 % de arenas y el 9 % de finos, es una mezcla bien graduada a partir de los coeficientes de uniformidad y de curvatura, cuyos valores son 79 y 1.5 respectivamente, representado por un tamaño máximo de $\frac{3}{4}$ ". Según la clasificación HRB esta mezcla se ubica dentro del subgrupo A-1-b (0) lo que indica una arena gravosa o arena graduada que puede incluir finos, cuyo uso en una obra es de calidad excelente como subrasante; mientras que la clasificación SUCS sitúa a la mezcla dentro de una categorización indeterminada de símbolos dobles (SW-SM) lo que indica una arena bien graduada con presencia de grava y con poco finos.

Al material se le realizaron dos ensayos de gravedad específica, obteniéndose un valor promedio de 2.54, cuya ubicación en la tabla III.3 *de densidad de los suelos* es dentro del grupo de suelos orgánicos. Este valor es indispensable para calcular

la relación de vacíos de un suelo, la que a su vez es utilizada comúnmente para definir la densidad de la muestra.

Para el ensaye de pesos volumétricos se realizaron también tres repeticiones para peso volumétrico seco suelto y seco varillado con el fin de obtener una media aritmética por medio de la cual obtuvimos mayor precisión en la obtención de los datos, los cuales fueron de 1,227.0 y 1,404.0 Kg/m³, seco suelto y seco varillado respectivamente. Estos valores son superiores a la mezcla que posee menor cantidad de material selecto. El peso volumétrico varillado esta dentro de los límites establecidos puesto que la norma ASTM – 1241 sugiere 1,120.0 Kg/m³ como mínimo.

Para la determinación de los límites de Atterberg se realizó primeramente el ensaye para el límite líquido, observándose al momento de formar la mezcla, poca pastosidad y al colocarlo en la copa de casa grande y querer formar la ranura trapezoidal este material se desprendía, por lo que no había adherencia entre sus granos por ser un material arenoso, dichos factores hicieron imposible la realización del ensaye; pese a esto se decidió tratar de determinar el límite plástico, comprobando su comportamiento al notar que fue imposible obtener los rollitos de 3 mm, pues la masa ensayada se rompía; probándose con diferentes contenidos de agua al intentar realizar el ensaye de límite plástico; fenómeno debido a la completa falta de resistencia a la tensión del material.

Para la compactación de tipo mecánico se realizó Proctor Modificado, hallándose una densidad volumétrica de 1,718.0 Kg/m³ con una humedad optima de 17.6 % para lo cual se requerirá 57 gal/m³ una vez colocado este material en obra para ser compactado; y luego de esto se habrá garantizado la estabilidad volumétrica del suelo, obteniendo una capacidad soporte esperada. Es importante mencionar que en la compactación, en base a la gravedad especifica, se evaluó los porcentajes de poros que posee el material a su máxima densidad, así como su relación de vacíos y grado de saturación proporcionando valores de 32 %, 0.48 y

93 %, respectivamente para Proctor Modificado, dicha densidad seca máxima se alcanza al 93 % de saturación de este material.

Para la obtención de los factores de enjuntamiento y abundamiento se utilizó como densidad de banco el peso volumétrico varillado por ser el más semejante a la condición en que este tipo de materiales podrían encontrarse en la naturaleza; se determinó un factor de enjuntamiento para una densidad correspondiente a la energía de compactación Proctor Modificado, debido a que estas mezclas son utilizadas exclusivamente para estructuras de pavimento en donde la especificaciones técnicas exigen un proceso de compactación Proctor modificado; el valor de enjuntamiento para esta condición es de 0.82; el factor de abundamiento para la mezcla en las proporciones indicadas es de 1.14.

En el ensaye de CBR con los datos obtenidos del método Modificado se obtuvieron los valores de CBR de diseño para 90, 95 y 100 % de compactación mediante la gráfica (% CBR Vs % Compactación), hallándose valores de 68, 110 y 152; donde las *tablas II.9 y II.10 clasificación y uso de suelos según el valor de CBR*, indica que los valores de CBR para esta mezcla son satisfactorios al 100 % de compactación para base obteniéndose un resultado de 152, así mismo se obtuvo resultado grato de CBR para subbase al 95 % de compactación de 110, de igual forma para revestimientos aunque los valores de CBR a 100 % de compactación están dentro del rango estipulado por la norma, la granulometría no es la mejor; ya que los valores obtenidos para los porcentajes que pasan, están por debajo de los normados.

Con respecto al comportamiento que presento el material referente a las propiedades expansivas (hinchamiento), notamos que no hubo una gran variación en el transcurso de las lecturas tomadas durante el tiempo de sumersión, obteniendo un hinchamiento máximo del 0.01 %, lo que nos deja ver que este material en situaciones críticas demuestra una buena estabilidad volumétrica en comparación con otros, también en dos especímenes de mayores números de golpes, se observó al momento de realizar la resistencia a la penetración la

dificultad del pistón al instante de penetrar el material compactado debido a que este poseía una energía de compactación bastante alta presentando mayores resistencia a la penetración por el amarre que le brindo el material selecto a la mezcla.

Según las especificaciones técnicas ASTM D-1241 para base, esta mezcla cumple en su graduación para ser de tipo B y para revestimiento de camino se clasifica en tipo C. ver tabla II.5; sin embargo, para revestimiento esta mezcla no resulta ser una opción viable, dado que su IP debería situarse entre 4 y 10 máximo y en vista que el material es NP (No Plástico) éste valor se hace cero, entonces sería riesgoso utilizarlo, puesto que sería un material altamente erosionable ante la exposición de los agentes exógenos.

CAPITULO X: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

10.1 Conclusiones

La investigación realizada para la determinación de las propiedades físicas y mecánicas de los materiales extraídos de los frentes de explotación de los Bancos de Material Selecto y Escoria Volcánica (Hormigón) estudiados dentro del Departamento de Managua, arrojan las siguientes conclusiones conforme a sus objetivos planteados.

10.1.1 En cuanto a los Criterios de Localización y Explotación:

- A fin de realizar una adecuada localización y explotación de Bancos de materiales será estrictamente necesario consultar y apegarse a la NTON 05021-02 (Norma Técnica Obligatoria Nicaragüense), la cual es el documento legal que rige lo concerniente al aprovechamiento de los Bancos de materiales de préstamos para la construcción y en ella se establecen los criterios técnicos necesarios referidos a la explotación de bancos de materiales.

10.1.2 En cuanto a sus Propiedades Físicas:

- En función del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) se determinó que los suelos procedentes de los bancos de material selecto: San Isidro, La Veta (material gris claro) y Mina Sandino, están clasificados dentro del grupo SM (arenas limosas, mezclas de arena y limo); la otra variedad encontrada en el banco La Veta (material gris oscuro) es un caso de frontera por lo cual se le atribuye símbolo doble SM-SP (arena limosa, arena mal graduada, arena con presencia de gravas y limos). Dentro del Sistema de Clasificación AASHTO (H.R.B.) los materiales de San Isidro, La Veta y Mina Sandino son de tipo A-1-b (arena gravosa o arena graduada, puede incluir finos).
- El material encontrado en el Cerro Talpetate (hormigón mixto) es un material del grupo GW (gravas y mezclas de gravas con arenas bien

graduadas con poco o nada de finos); así mismo el hormigón negro se clasifica como un material del grupo GP (gravas y mezclas de gravas con arenas mal graduadas con poco o nada de finos) según la clasificación SUCS. En cuanto al Sistema AASHTO (H.R.B.) los materiales extraídos del Cerro Talpetate se ubican dentro del grupo A-1-a (Mayormente gravas bien graduadas, con porcentaje pequeño de arena y poco o nada de finos).

- La mezcla realizada en proporción 60 % Hormigón - 40 % Selecto, se clasifica por medio del sistema SUCS como un caso de frontera debido a que el porcentaje de finos es del 7%, ubicándose dentro del grupo GW-GM (una grava bien graduada con finos limosos). Entre tanto por el Sistema de Clasificación AASHTO la mezcla se ubica dentro del grupo A-1-a (mayormente grava que incluye arena y limo).
- La mezcla realizada en proporción 40 % Hormigón - 60 % Selecto, se clasifica por medio del Sistema SUCS como un caso de frontera debido a que el porcentaje de finos es del 9%, ubicándose dentro del grupo SW-SM (una arena bien graduada con alto contenido de grava y poco contenido de limo). Entre tanto por el sistema de clasificación AASHTO la mezcla se ubica dentro del grupo A-1-b (arena gravosa bien graduada, que incluye limo).
- Todos los materiales ensayados no presentan plasticidad, de lo cual se concluye que la presencia de arcilla dentro del contenido de finos es nula.
- La gravedad específica de los bancos, La Veta y Mina Sandino se encuentra dentro del rango de las arenas limosas (2.67-2.70); en el caso de los bancos San Isidro Libertador y Cerro Talpetate, se encuentra dentro del rango para materiales de origen volcánico (2.20-2.50).
- Los factores de enjuntamiento y abundamiento determinados por medio de la presente investigación, tanto para los materiales extraídos de cada banco en particular como para las mezclas diseñadas, permitirán al ingeniero

estimar adecuadamente los volúmenes de banco y los volúmenes sueltos, necesarios para satisfacer los volúmenes compactos requeridos por el diseño de la Obra en cuanto a la construcción de las capas de la estructura de terracería y pavimento en las se requieran utilizar dichos materiales.

- El material selecto con menor densidad suelta corresponde al banco de San Isidro Libertador, correspondiéndose con los resultados de su gravedad específica. Esta propiedad resulta ventajosa para el transporte y trabajabilidad del material logrando con esto ahorro en la manipulación del mismo.
- La escoria volcánica del Cerro Talpetate presenta una densidad suelta relativamente homogénea inferior a los 1000 Kg/m^3 , es un material de fácil manipulación y de bajo costo en su transporte.
- Los materiales presentan un incremento de densidad del orden del 8 al 14 % con respecto a los pesos volumétricos seco suelto y seco compacto (varillado), dentro del mismo rango se encuentran los pesos volumétricos de las mezclas analizadas.

10.1.3 En cuanto a las Propiedades Mecánicas:

- El material selecto de los bancos La Veta y Mina Sandino presentan propiedades muy similares al ser compactados, alcanzando valores elevados de densidad seca máxima que están alrededor de 1800 a 1850 Kg/m^3 y humedades optimas entre el 14 y 15 %, para la energía de compactación correspondiente al Proctor Estándar, en el caso de la energía correspondiente al Proctor Modificado se alcanzaron valores de densidad seca máxima entre 1900 a 1950 Kg/m^3 con humedades óptimas alrededor del 12.5 % al 13.5 %.
- La muestra proveniente del banco San Isidro Libertador es la que presenta menores valores de densidad al ser compactado, sin embargo, su

resistencia mecánica definida a través del ensayo de CBR cumple con las especificaciones técnicas requeridas para ser utilizado como parte de la estructura de pavimento, obteniendo resultados de resistencia similares a los obtenidos en los bancos La Veta y Mina Sandino.

- La elevación de densidades máximas que sufren todos los materiales de selecto, del ensaye estándar al modificado, son de 1.10 y para alcanzar dichas densidades el único material que requirió mayor humedad fue el de San Isidro.

10.1.4 En cuanto a la Calidad de los Materiales para su uso Ingenieril:

- El material encontrado en el banco San Isidro Libertador presenta una buena estabilidad y manejabilidad en el momento de ser compactado, este material cumple con las especificaciones técnicas de resistencia mecánica, sin embargo, su deficiencia granulométrica no le permite ser utilizado como material para estructuras de pavimento ni como material para revestimiento de caminos, limitando su uso únicamente como material de terracería en capa subrasante o cuerpo de terraplén.
- Los materiales provenientes de los Bancos La Veta y Mina Sandino son materiales muy granulares, y por tanto, se puede considerar que su permeabilidad es muy elevada, lo que permitiría infiltraciones a las capas de subrasante y terracería, provocando a la estructura daños relevantes debido a que los materiales de estas capas son de menor calidad. Estos materiales no son recomendados para su uso en capa Base, capa Sub-base y en revestimiento de caminos, limitando su uso a la construcción de terracería.
- Los materiales de todos los bancos de selecto estudiados requieren de ser mezclados con un material grueso que mejore su calidad granulométrica, para poder ser empleados como material de capa Base o capa Sub-base. En el caso de revestimiento de caminos, debe agregarse a la mezcla un

porcentaje de partículas plásticas (arcilla); que le permita alcanzar una cohesión definida a través del Índice de Plasticidad, logrando con esto una resistencia al Intemperismo. Es importante señalar, sin embargo, que cada mezcla propuesta debe ser evaluada en un laboratorio de Suelos, con la finalidad de verificar que dicha mezcla cumpla con las especificaciones técnicas requeridas para cada caso en particular.

- El material del Cerro Talpetate (Hormigón) es un material predominantemente grueso y granular, su uso se encuentra estrictamente limitado a ser un material que mejore la calidad granulométrica del material selecto, por lo que no puede ser empleado directamente en capas de la estructura de pavimento, en capas de terracería ni en revestimiento de caminos. Sin embargo es un material comúnmente utilizado para estabilizar caminos de verano en épocas de invierno.
- Las mezclas estudiadas cumplen satisfactoriamente con las especificaciones técnicas para ser utilizadas como excelente material de Base y Sub-base en estructuras de pavimento, sin embargo, no son recomendables para su uso en revestimiento de caminos, debido a la falta de cohesión en sus partículas por presentar un $IP = 0$, lo que permitiría su desgaste rápido debido a la acción de los agentes del Intemperismo.
- De las dos mezclas estudiadas, la mezcla con mayor contenido de material selecto (60%), resulta ser la que brinda mejor calidad físico-mecánica, mayor estabilidad en el momento de compactarse y brinda una mejor superficie de enrazado, considerándose esta última condición para aquellos materiales utilizados en revestimiento de caminos.

10.1.5 En cuanto al Documento de Consulta y Referencia:

- Este documento describe claramente todo el fundamento teórico necesario para la correcta comprensión del propósito e importancia de la línea de investigación que define el presente trabajo, así mismo, presenta un detalle de las normativas técnicas nacionales e internacionales que rigen este ámbito científico de la ingeniería civil.
- El documento contiene el detalle de todos los procedimientos para la realización de cada uno de los ensayos de laboratorio utilizados en la determinación de las propiedades físico-mecánicas de los materiales extraídos procedentes de los bancos en estudio, lo que permite tener una fuente bibliográfica adecuada para estudiantes y profesionales de la ingeniería civil que deseen continuar profundizando o ampliando las investigaciones de dichas propiedades en estos u otros materiales de interés.
- El presente documento sirve como guía en el estudio y evaluación de los materiales que pueden ser utilizados en la construcción de vías interurbanas y urbanas, debido a la descripción detallada del procedimiento investigativo desde la localización y selección del banco a estudiar, así como, de la etapa de extracción de muestras (trabajo de campo), evaluación de las mismas (trabajo de laboratorio) y análisis de resultados (trabajo de gabinete).

10.2 Recomendaciones

- Es necesario que se continúen realizando investigaciones geotécnicas dirigidas bajo la misma Línea de Investigación, para lo cual se debe de contar: con laboratorios, equipamientos y personal altamente eficientes que garanticen alcanzar resultados cada vez más confiables.
- La información brindada por los propietarios de los bancos en estudio, respecto a los volúmenes de explotación en reserva se considera estimada, ya que no nos brindaron ningún informe técnico del cual podamos tener veracidad sobre tal información, por lo que, recomendamos efectuar investigaciones adicionales que permitan realizar una estimación más actualizada y precisa de los volúmenes de reserva, así como, de la homogeneidad de las características físico-mecánicas de los mismos de donde se deriva la calidad de estos.
- Es preciso que las Instituciones Gubernamentales como el MTI, FOMAV, FISE, MEM y ALMA se interesen realizar inspecciones de control de calidad de los materiales que se explotan con la finalidad de ser usados en la construcción de Obras Viales.

BIBLIOGRAFÍA

- Bowles, Joseph, Manual de Laboratorio de Suelos de Ingeniería Civil, (1981), Traducido por Aquiles Arrieta, 2da Edición, Editorial McGraw Hill.
- Crespo, Carlos, Mecánica de Suelos y Cimentaciones, (1998), 4ta Edición, Editorial LIMUSA, SA.
- Juárez Badillo, Rico Rodríguez. 1986. Mecánica de Suelos, Tomo I Fundamentos de la Mecánica de Suelos. Editorial Limusa, S.A de C.V. Tercera Edición. Balderas 95, México, DF.
- Kraemer C., Pardillo J. (2003): Ingeniería de carreteras, 2 vols., 261-271 Págs., Mc Graw Hill, México, D.F.
- Néstor Mauricio Calderón Argueta, 1993. Guía para Pruebas de Suelo que se realizan en campo y en el laboratorio, aplicadas en obras de Ingeniería Civil. Trabajo de Graduación, Universidad de El Salvador, San Salvador, El Salvador.
- Olivera B., F.: (1990): Estructuración de Vías Terrestres, 2 vols., 95-123 Págs., CECOSA, México, D.F.
- Palenzuela, J. (1972): Ingeniería Geológica, 15-17 Págs., Diana Edit., México, D.F.
- Peck Ralph, Hanson, Walter, Thorburn Thomas, Ingeniería de Cimentaciones, (1991), 2da Edición, Editorial LIMUSA, SA.
- Rico, Del Castillo. 1994. La Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres, Volumen I. Editorial Limusa, S. A de C.V. Balderas 95, México, DF.
- Rico, A., y Del Castillo H. (1990): La ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres, 2 vols., 291-319 Págs., Limusa, México, D.F.

- Sowers, B. George y Sowers, F. George, Introducción a la Mecánica de Suelos y Cimentaciones, Versión en español por José Menéndez, (1990), 6ta Edición, Editorial LIMUSA, SA.

GLOSARIO

Banco de material: Lugar donde se extraerá material para ser utilizado en una obra civil, en el cual es necesario conocer la clase o clases de suelos existentes en dicha zona, así como el volumen aproximado de material o materiales, que puedan ser excavable, removibles y utilizables.

Base: Constituye la capa intermedia entre la capa sub-base y la superficie de rodadura. Generalmente se usa en los pavimentos flexibles. Se compone de materiales pétreos con buena distribución granulométrica. Esta capa permite reducir los espesores de carpeta, reduce los esfuerzos cortantes que se transmiten hacia las capas inferiores.

Capilaridad: Retención de agua por efecto de la tensión superficial. (Ascendencia). Indica la capacidad de un suelo para absorber agua en dirección vertical o lateralmente. Es una característica beneficiosa de los materiales usados en las capas bases porque permiten el paso del agua.

Carpeta: Superficie de rodamiento construidos con materiales endurecidos para pasar minimizados los esfuerzos hacia la terracería. Pueden ser materiales con o sin liga.

CBR. (Relación de Carga California): Relación entre la presión necesaria para penetra los primeros 0.25 cm en un material de prueba y la presión necesaria para penetrar la misma profundidad en un material de características conocidas o patrón.

Cohesión: Adherencia, fuerza que une las moléculas de un cuerpo. Resistencia al corte de un suelo.

Compacidad: Calidad de compactado, estructura apretada o poco porosa.

Compactación relativa: Es el término utilizado para comparar el suelo compactado “in situ” con la curva de compactación de laboratorio.

Compactación: Es el proceso mecánico, por medio del cual se reduce el volumen de los materiales en un tiempo relativamente corto, con el fin que sea resistente. Es una densificación rápida, por lo que tiene lugar únicamente una disminución de los huecos del suelo ocupados por aire.

Compresibilidad: Calidad de compresible. Depende del límite líquido. A mayor LI mayor compresibilidad. Indica el porcentaje de reducción en el volumen del suelo, debido a pérdida de parte del agua entre sus granos cuando está sometido a una presión. Los materiales arcillosos tienen mayor compresibilidad que los granulares, por lo que al ser compactados quedan con menor capilaridad, son por tanto menos adecuados para construir bases.

Consolidación: Es un fenómeno de compactación natural, que se lleva a cabo durante mucho tiempo, quizá siglos, y la disminución de volumen se efectúa a costa del aire y el agua que contenga el suelo. Es un proceso lento, debido normalmente a la acción del peso propio y de las eventuales sobrecargas, en que la densificación tiene lugar por la expulsión del agua que está en los huecos dejados por la estructura de partículas sólidas.

Consistencia: Es el grado de resistencia de un suelo a fluir o deformarse. Con poca humedad los suelos se disgregan fácilmente con más humedad el suelo se torna más plástico.

Densidad: Compacto, apretado, muy pesado, en relación con su volumen.

Exploración: Acción que se realiza con la finalidad de determinar las condiciones del subsuelo y sus propiedades físicas, índice y mecánicas.

Estratigrafía: Elemento gráfico que define la descripción de las capas componentes del subsuelo, su profundidad, su espesor y algunas de sus propiedades.

Estabilización: Mezcla de dos o más materiales, para que esta presente las características deseables. El suelo se estabiliza cuando en la mezcla de los materiales interviene el agua.

Granulometría: Es la propiedad que tienen los suelos de mostrar diferentes tamaños en su composición, es decir, la división del mismo en diferentes fracciones seleccionadas por el tamaño de sus partículas componentes.

Humedad óptima: Porcentaje de agua necesaria en el momento de la compactación, previamente en un laboratorio.

Índice de plasticidad: Es la diferencia del límite líquido y el límite plástico. Las terracerías están formadas por las capas: cuerpo del terraplén y la subrasante.

Límite de contracción: Contenido de agua bajo el cual el volumen de suelo ya no disminuye cuando este se seca.

Límite líquido: Es la contenido de humedad correspondiente al límite entre el estado semi-líquido y plástico. Se les practican estos ensayos a los materiales que pasen la malla N° 40.

Límite plástico: Es el contenido de humedad correspondiente al límite entre el estado plástico y semi-sólido.

Muestra: Cantidad de material necesario para realizar todas las pruebas de laboratorio y aún repetir las incorrectas o aquellas cuyos resultados son dudosos.

Muestras alteradas: Llamadas también “Perturbadas”, las cuales se toman cuando el material que se analice vaya a ser empleado en la construcción de terraplenes, en la preparación de muestras estabilizadas, y otras obras (material de construcción).

Muestras inalteradas: Llamadas también “No perturbadas”, las cuales se extraen cuando se necesite conocer las condiciones de estabilización del terreno “in situ” como en el estudio de taludes, capacidad de soporte de un terreno.

Muestreo: es la actividad de campo, que consiste en la obtención de una o varias porciones de los materiales, con los cuales se pretende construir una estructura (Pavimento), procediendo de tal manera que las características de la o las porciones obtenidas, permitan hacer una evaluación lo mas real posible, del conjunto que representan.

Pavimento: Capa o conjunto de capas de materiales seleccionados, comprendidas entre el nivel superior de las terracerías y la superficie de rodamiento, cuyas principales funciones son: proporcionar una superficie de rodamiento uniforme, de color y texturas apropiadas, resistentes a la acción del tránsito, a la del Intemperismo y otros agentes perjudiciales, así como transmitir adecuadamente distribuida a las capas inferiores los esfuerzos producidos por las cargas impuestas por el tránsito.

Pavimento flexible: Son aquellos que tienen una base flexible o semi-rígida sobre la cual se ha construido una capa de rodamiento formada por una mezcla bituminosa de alquitrán o asfalto.

Pavimento rígido: Son aquellos en los cuales la capa de rodamiento está formada por concreto de cemento Portland.

Permeabilidad: Facilidad con que atraviesa el agua una masa porosa.

Peso específico: Es la relación entre el peso, al aire, de las Partículas minerales y el peso, al aire, del agua destilada a un mismo volumen.

Peso volumétrico seco: Es la relación entre el peso de los sólidos y el volumen total del suelo. Se usa en cuestiones de compactación.

Plasticidad: Propiedad de un material por la que es capaz de soportar deformaciones rápidas.

Perdida por lavado: Cantidad de material fino perdido durante el lavado de una muestra de material sometido a pruebas de laboratorio, con el fin de determinar el porcentaje de granos finos contenidos en ella.

Porosidad: Que tiene poros.

Proctor estándar: Determina la máxima densidad y el contenido de humedad óptima (compactación).

Proctor modificado: Al igual que el estándar este determina la máxima densidad y humedad óptima de compactación para una mayor energía de compactación (4.5 veces mayor que el estándar), en Nicaragua se utiliza únicamente para aeropistas.

Propiedades índice: Son de carácter cualitativo, dadas por características físicas, las cuales arrojan una idea del comportamiento mecánico de los suelos (granulometría, plasticidad). Estas propiedades son:

Propiedades físicas: Las propiedades físicas de los materiales son las que describen el estado que guarda las partículas componentes del suelo, que definen su apariencia.

Propiedades mecánicas: Evaluadas mediante parámetros cuantitativos que sirven en el cálculo de estabildades de las fundaciones o estructuras de tierra. Las mecánicas son las que describen el comportamiento de los suelos bajo esfuerzos inducidos y cambios del medio ambiente.

Suelo: Es un conjunto de partículas minerales, producto de la desintegración mecánica y la descomposición química de rocas, no cementadas, que pueden contener o no materia orgánica. Contiene 3 fases: sólida (partículas minerales), líquida (agua) y gaseosa.

Sub-base: Es una capa de materiales pétreos, de buena granulometría, construida sobre la subrasante. Esta capa es la que subyace a la capa base, cuando esta es necesaria, como en el caso de los pavimentos flexibles. Normalmente la capa sub-base se construye para lograr espesores menores de la capa base.

Subrasante: Es el terreno de sedimentación del pavimento. Puede ser de suelo natural debidamente recortado y compactado.

Vacios: Espacios existentes entre las partículas de diferentes tamaños y formas que componen un suelo.

Valor relativo de soporte: Prueba que se aplica a materiales de bases, sub-bases y terracerías con el fin de determinar el espesor de las capas de un pavimento.

ANEXO

Norma Técnica N ° 050 21-02 Aprobada el 21 de Marzo del 2002

Publicada en La Gaceta N ° 128 del 9 de Julio del 2003

APROVECHAMIENTO DE LOS BANCOS DE MATERIALES DE PRÉSTAMO PARA LA CONSTRUCCIÓN

3. DEFINICIONES

Para los efectos de la presente norma se entenderá por:

3.1 Aprovechamiento: Se entiende por aprovechamiento el uso de la cantera, incluyendo las diversas fases de exploración, explotación y cierre.

3.2 Áreas Protegidas: Las que tienen por objeto la conservación, el manejo racional y la restauración de la flora, fauna silvestre y otras formas de vida, así como la biodiversidad y la biosfera.

3.3 Banco de Préstamo: Se entiende como banco de préstamo a los yacimientos de sustancias minerales y rocas no metálicos compuesto por material consolidado y no consolidado, cuyo uso está designado para las obras de infraestructura, que no requieran más operaciones que las de arranque, fragmentación y clasificación.

3.4 Contaminación: La presencia y/o introducción al ambiente de elementos nocivos a la vida, la flora o la fauna, o que degrade la calidad de la atmósfera, del agua, del suelo o de los bienes y recursos naturales en general.

3.5 Contaminación Atmosférica: Alteración de la composición normal del aire provocada por la presencia en la atmósfera de una o más sustancias gaseosa, sólida o líquida que han sido incorporadas directa o indirectamente por el hombre o por fuentes naturales en cantidades suficientes, características y duración; que pueden poner en peligro la salud del hombre y afectar adversamente la flora y fauna, así como, a los materiales, reducir la visibilidad.

3.6 Decibel (dB): Unidad comúnmente usada para medir la intensidad de los sonidos. Se usa también para expresar los niveles de ruido en la medición y control de la contaminación por ruidos. Décima parte de un bel.

3.7 Ecosistema: Se entiende como ecosistema a la unidad básica de interacción de los organismos vivos entre sí y su relación con el ambiente.

3.8 Especies Nativas: Especies vegetales que son propias de una zona o región en la cual se reproducen y cuya sobre vivencia depende de las condiciones ambientales de su entorno natural.

3.9 Excavación de Préstamo: La excavación de préstamo comprende la excavación y utilización de material aprobado, para la construcción de terraplenes.

3.10 Exploración: Conjunto de trabajos geológicos de campo con el objeto de identificar depósitos minerales, al igual que de cuantificar y evaluarlas reservas económicamente aprovechables que contenga.

3.11 Estudio de Impacto Ambiental: Conjunto de actividades técnicas y científicas destinadas a la identificación, predicción y control de los impactos ambientales positivos y negativos de un proyecto y sus alternativas, presentando en forma de informe técnico y realizado según los criterios establecidos por los reglamentos y las guías técnicas facilitadas por MARENA.

3.12 Impacto Ambiental: Cualquier alteración significativa positiva o negativa de uno o más de los componentes del ambiente provocados por la acción humana y/o acontecimientos de la naturaleza en un área de influencia definida.

3.13 Material Estéril: Se entiende como material estéril a aquel que no posee material orgánico, ni minerales, no permite el desarrollo de la vida vegetal.

3.14 Material Particulado: Son partículas sólidas o líquidas de diversos tamaños, origen y composición que se encuentran suspendidas en la atmósfera. Su tamaño varía de 0.05 a 100 μ m de diámetro.

3.15 Medida Ambiental: Acción destinada a prevenir y evitar los impactos ambientales negativos, ocasionados por la ejecución de un proyecto o reducir la magnitud de los que no pueden ser evitados.

3.16 Montículo: Se entiende por montículo a la forma que adquiere la deposición del material de tierra vegetal en el área de almacenamiento.

3.17 Monitoreo: Medición periódica de uno o más parámetros indicadores de impacto ambiental causados por la ejecución de un proyecto, con el objetivo de aplicar medidas correctivas.

3.18 Programa de Gestión Ambiental: Consiste en el plan de monitoreo o seguimiento, con el objeto de controlar y garantizar el cumplimiento de las medidas ambientales propuestas en el estudio ambiental.

3.19 Yacimientos o Depósitos: Todos los afloramientos o concentraciones naturales de rocas de uno o varios minerales.

3.20 Restauración: conjunto de operaciones destinadas a restablecer las condiciones que presenta un sistema natural (cantera o banco de material) y que ha sido alterado a causa de la actividad humana (acción extractiva).

4. SIGLAS

ADGEO: Administración Nacional de Recursos Geológicos

AASHTO: American Association of State Highway and Transportations Officials

CAPRE: Comité Coordinador Regional de Instituciones de agua potable y saneamiento de Centroamérica, Panamá y República Dominicana.

DGRN: Dirección General de Recursos Naturales.

OMS: Organización Mundial de la Salud.

OPS: Organización Panamericana de la Salud.

5. DISPOSICIONES GENERALES

5.1 Las disposiciones contenidas en la presente normativa son de carácter obligatorio, y sin perjuicio a las disposiciones existentes en el campo del medio ambiente.

5.2 Todo interesado que requiera utilizar un Banco de materiales debe aplicar una solicitud de aprovechamiento del banco de materiales, ante las oficinas de la DGRN del MIFIC, y obtener el permiso de concesión para su aprovechamiento y cumplir con lo establecido en la ley 387 y su reglamento.

5.3 Todo interesado en aprovechar un Banco de materiales debe obtener un permiso ambiental emitido por MARENA, antes de proceder a desarrollar sus actividades de aprovechamiento.

5.4 La extracción de materiales de los lechos de los ríos se regirá de acuerdo al artículo, 7 del reglamento de la ley especial de exploración y explotación de Minas.

5.5 Todo proyecto que requieran del uso de los bancos de material deben reflejarse en los planos de diseño, indicando si el banco de material está siendo explotado o si es nuevo.

7. APROVECHAMIENTO

7.1 Para el seguimiento y control ambiental se debe contar con un plan operativo que contenga un plano, programa de actividades operativas y plan de cierre. El plano operativo, constará de escala aproximada, con sus respectivas notas de trabajo.

7.2 El plano operativo debe contener el esquema de las áreas de trabajo y trituración, áreas de almacenaje (de la capa fértil de suelo y del material acopiado), los límites de excavación, rutas de acarreo, los patrones de drenaje con su respectiva dirección y las zonas que deberán evitarse para la extracción de materiales.

7.3 El plano operativo debe contener una vista en planta del área de excavación y secciones transversales y debe presentar el proceso de las actividades.

7.4 Las notas de trabajo del plan operativo deben incluir las necesidades de usar explosivos para fracturar roca ó materiales, especificaciones de graduación, medidas de control de la erosión, factores de procesamiento y medidas de seguridad, los ángulos de los taludes y sus alturas máximas y la necesidad del diseño y construcción de bermas (escalonamientos), formas de control para el acceso a los bancos de materiales.

7.5 La empresa operadora del banco de materiales debe elaborar un plan de cierre de cese de actividades que debe adjuntarlo a los documentos de solicitud.

El plan de cierre debe contener lo siguiente:

- a) Una evaluación de las condiciones actuales del sitio y análisis de alternativas de los usos futuros del área.
- b) Un programa de recuperación de áreas degradadas.
- c) Desmontaje de construcciones e instalaciones que no tendrán uso en el futuro.
- d) Ejecución de obras que garanticen la estabilidad física que reduzcan la erosión, sedimentación, y eviten derrumbes.

7.6 Las vías de acarreo a los bancos de materiales deben ser construidas bajo diseño, dirigidos a evitar la sedimentación de los cuerpos de agua, Además, deben construirse de tal forma a que se mantenga un ángulo recto ó perpendicular, con respecto a la dirección del tráfico en la carretera ó camino principal.

7.7 Las áreas de almacenaje del material cortado deben ser ubicadas en sitios no inundables, contar con obras de drenaje y retención, riego superficial, para evitar la erosión hídrica y cólica del material.

7.8 No se permite la ubicación de bancos de préstamos de materiales en áreas protegidas del país, como: Reservas Biológicas, Parques Nacionales y Reservas

de Recursos Genéricos, Patrimonio Cultural, Sitios Históricos y áreas consideradas frágiles. En el caso de áreas protegidas que tengan plan de manejo, los bancos de préstamos deben estar ubicados según su zonificación y su normativa correspondiente. La ubicación de Bancos de préstamos en áreas protegidas que no tengan planes de manejo deberá solicitar la autorización correspondiente al MARENA.

7.9 El material sobrante debe colocarse en las áreas destinadas para los desechos de tal manera que no interfiera con el sistema de drenaje del sitio.

7.10 El material sobrante debe ser utilizado en el suavizamiento de los taludes de terraplenes o en el ensanchamiento de los hombros de los mismos.

7.11 En el caso de aprovechar un banco de material y quedase al descubierto material de guerra se debe notificar al Ministerio de Gobernación, todas las operaciones en el área circundante deben ser suspendidos temporalmente y notificar inmediatamente a la oficina gubernamental correspondiente.

7.12 Cuando las operaciones de aprovechamiento ponga a los descubiertos valores culturales, fósiles, vestigios de poblados, restos humanos de carácter prehistórico o artefactos arqueológicos, todas las operaciones en el área circundante deben ser suspendidos temporalmente y notificar inmediatamente a la oficina gubernamental correspondiente. Todo objeto encontrado es propiedad del estado nicaragüense.

7.13 En caso de ocurrir daños ambientales causados en las propiedades tanto públicas como privadas, como consecuencia directa e indirecta del aprovechamiento de los bancos de materiales, el dueño del proyecto y el Constructor, serán los responsables de los daños ocasionados.

7.14 Los mojones, puntos de control y demás referencia fijadas por las autoridades de geodesia y cartografía de **INETER**, deben ser protegidas y no

serán removidas o perturbadas de ninguna manera, a menos que reciba instrucciones escritas por dicha oficina gubernamental.

7.15 Las actividades de explotación deben ser planificadas durante un período de trabajo comprendido de las 7:00 a.m. hasta las 5:00 p.m. En aquellos sitios donde hubiere asentamientos humanos en las cercanías.

7.16 Queda Restringido el aprovechamiento de los bancos de materiales que contengan hábitats de especies que se encuentren en la lista apéndice I y II de CITES, la DGRN del MIFIC no aprobará la concesión de uso a menos que el contratista presente evidencia del cumplimiento con los requerimientos del **MARENA**.

8. USO DE EXPLOSIVOS

8.1 Para el uso de explosivos, transporte y almacenamiento se debe contar con el visto bueno de las autoridades locales.

8.2 El solicitante del permiso de aprovechamiento debe suministrar y colocar señales visibles y preventivas fuera del perímetro de peligro, a fin que el público se entere del peligro que significa el uso de explosivos.

8.3 Si existiere una comunidad poblacional cerca del sitio donde se hará uso de los explosivos, se utilizará el servicio de perifoneo a fin de indicarle a la población las instrucciones respectivas y ubicar un cordón de seguridad alrededor del sitio afectado para brindar una mejor seguridad a la población.

8.4 El paso de personas, vehículos y animales deberá ser restringido mientras se haga uso de los explosivos.

8.5 El horario para el uso de los explosivos, queda restringido dando inicio a las 7:00 a.m. y concluyendo a las 2:00 p.m., antes de dar inicio a la voladura es necesario emitir una señal sonora que indique el momento, esta señal puede ser un toque de bocina o sirena.

8.6 Una vez realizada la voladura el encargado debe de informar a las autoridades respectivas de las cargas fallidas y proceder a su recuperación en el menor tiempo posible y hacerlas explotar para evitar daños futuros.

8.7 Queda restringido el uso de explosivos en aquellas áreas con alto riesgo sísmico, o que tengan riesgo de deslizamiento.

9. REMOCIÓN DE VEGETACIÓN

9.1 La exploración clasificatoria de los materiales que conforman el banco de Materiales, se debe realizar preservando la vegetación arbórea, en caso contrario la afectación a la vegetación debe ser justificada, contemplando su impacto al ambiente y la restauración de la vegetación incluido en el Plan Operativo.

9.2 En caso de remover árboles y arbustos, se debe contar con el respectivo permiso de INAFOR.

9.3 La eliminación de la cobertura vegetal arbórea se realizará por medio de herramientas mecánicas manuales y/o equipos motorizados, quedando restringido el uso del fuego para la eliminación de la vegetación. El destronque se realizará hasta la profundidad de las raíces dentro de dichas áreas.

9.4 El área donde se removerá la vegetación tiene que estar debidamente señalada para determinar las áreas destinadas a conservar dentro del banco.

10. MANEJO DE LA CAPA FÉRTIL DEL SUELO

10.1 La remoción de la capa de suelo (descapote) no aprovechable para fines constructivo, en las diferentes etapas de exploración y explotación debe realizarse separadas a la remoción del material estéril. El área a ser afectada debe estar bien delimitada, hacer las investigaciones necesarias y determinar el espesor y la condición de los materiales minerales a ser explotados.

10.2 Debe seleccionarse un área específica para almacenar la capa fértil del suelo y esta deberá estar señalada en el plano operativo, acápite 7.2.

10.3 El sitio de almacenamiento de la capa fértil debe contener un rango de pendiente de 2-5% y que no sea inundable.

10.4 Se debe colocar la capa fértil del suelo en montículos, no mayores de 2 m de altura y sin compactación. Los montículos deben ser cubiertos con material impermeable a fin de evitar su pérdida, cuando el tiempo de uso sea inferior a los dos meses.

10.5 Cuando el período de tiempo de uso sea mayor de los dos meses, los montículos deben protegerse con vegetación, preferiblemente gramíneas.

11. CARGA Y TRANSPORTE.

11.1 El material transportado debe ir cubierto por un toldo, para evitar derramamiento en lugares no deseados, el esparcimiento en la atmósfera y accidentes a lo largo de su recorrido.

11.2 Debe evitarse el transporte a través de áreas protegidas en todas sus categorías y/o consideradas como frágiles, en todo caso se regirán de acuerdo a lo estipulado en el reglamento de áreas protegidas de Nicaragua, Decreto 14-99 y en su respectivo plan de manejo.

11.3 El personal involucrado en la actividad de carga y transporte debe contar con el equipo y medidas de seguridad contempladas en las regulaciones de higiene y seguridad ocupacional.

12. PLAN DE GESTIÓN AMBIENTAL

12.1 Todo Interesado que solicite permiso para aprovechamiento de banco de materiales debe de contar con un plan de gestión ambiental aprobado por MARENA.

12.1.1 El plan de gestión ambiental debe describir los impactos ambientales generados y la manera de evitarlos, mitigarlos ó compensarlos.

12.2 El plan de gestión ambiental, debe identificar a los responsables de las actividades que se pretenda ejecutar.

12.3 El plan de gestión ambiental para el banco de materiales debe incluir; un programa de Monitoreo y Supervisión Ambiental, Contingencia, Educación Ambiental, Restauración Ambiental y los costos.

12.4. Programa de Monitoreo

12.4.1 Si el banco de material está ubicado cerca de los cuerpos de aguas estos deberán ser monitoreados aguas arriba y aguas abajo, a fin de mantener el control de la calidad para que no afecte a los usuarios del recurso.

12.4.2 En el programa de monitoreo y supervisión deben considerarse la calidad del aire y agua cuando el banco de materiales esté cerca de sitios poblados y cuerpos de agua superficial. Los parámetros son los determinados por MARENA, de acuerdo a los instrumentos legales existentes.

12.4.3 Los parámetros de calidad de agua y aire a monitorear serán aquellos que estén referidos en las condiciones físico químicas y biológicas de los instrumentos vigentes en el país.

12.4.4 Se debe aplicar una leve película de agua a fin de mantener un 5% de humedad en el material que está siendo preparado y almacenado, para reducir la presencia de material particulado en la atmósfera.

12.4.5 Todos los trabajadores deben contar con un equipo de protección para ruidos, el período de tiempo permisible y la intensidad de ruido permisible son los siguientes:

- a) Hasta 8 horas, 85 decibelios (db).
- b) Hasta 4 horas, 88 decibelios (db).

c) Hasta 1 hora, 94 decibelios (db).

12.4.6 Las empresas constructoras que aprovechen los bancos de materiales mediante técnicas que generen ruido y vibraciones que por sus características, niveles y tiempo de exposición, sean capaces de alterar la salud de los trabajadores deben elaborar un programa de higiene y de seguridad, conforme al código de higiene y seguridad ocupacional del Ministerio del Trabajo (MITRAB).

12.4.7 La empresa involucrada es la responsable de instrumentar los centros de trabajo de los controles necesarios en las fuentes de emisión, para no exceder los niveles máximos permisibles del nivel sonoro continuo equivalente y de vibraciones conforme al código de higiene y seguridad ocupacional del Ministerio del Trabajo (MITRAB).

12.4.8 Los registros obtenidos en el monitoreo son responsabilidad de la empresa la que debe de garantizar su seguridad y duplicidad para que puedan ser utilizados, por la entidad reguladora, cuando los solicite y se deben enviar un programa de monitoreo aprobado (MARENA, MINSA, MITRAB).

13. RESTAURACIÓN DEL SITIO DONDE ESTA EL BANCO DE MATERIAL

13.1 Todo Beneficiario de una concesión de explotación de banco de materiales debe formular y ejecutar un Plan de Gestión Ambiental que permita la recuperación de los factores ambientales del área alterada, debiendo cumplir con todo lo referente a la limpieza y acabado final de la obra y su entorno, tal como se especifica en los siguientes acápite:

- a) Las áreas utilizadas como bancos de materiales, pedreras, plantas trituradoras, campamentos, entre otros, deben quedar libres de todo desperdicio y reconvertidas de acuerdo al relieve natural del sitio.
- b) Los Bancos de materiales utilizados deben ser protegidos con cobertura vegetal que dificulten la erosión, con especies nativas propias de la zona.

- c) Los sitios de desvío, retorno, caminos de acceso y sitios de deposición de material sobrante, deben ser restaurados y restituida su cobertura vegetal con especies nativas de acuerdo al entorno natural, en aquellos casos donde el propietario del terreno solicite lo contrario debe ser autorizado por MARENA en coordinación con la autoridad municipal.

13.2 La estabilidad de las paredes de los cortes del banco de materiales debe de tener una relación con la característica del material parental y el talud para tal fin debe ser de acuerdo a los cuadros No. 1 y 2 que se presentan a continuación.

13.3 Cuando el buzamiento exceda los 45° hacia la excavación o si el punto de contacto entre las capas contiene material plástico o arcilloso y las situaciones donde se encuentra roca agrietada con planos de debilidad bien definidos, cortes altos (> 10m), deben ser evaluadas y estudiadas por un Ingeniero Geólogo, quien remitirá sus observaciones a AdGeo.

13.3.1 Los valores del cuadro No. 2 para los suelos drenados en taludes soportarán temporalmente un corte vertical hasta una altura de 2 - 3 metros. Los valores pueden variar dependiendo de las condiciones locales y tipo de suelo.

Cuadro No, 1 Pendientes típicas para los cortes realizados en Roca Madre. **(Ver cuadro 1 en la Gaceta N° 128 Pág. 3536)**

Cuadro No. 2 Pendientes típicas de cortes en suelos (Cortes desde 0 - 15 m de altura). **(Ver cuadro 2 en la Gaceta N° 128 Pág. 3536)**

Nota 1: en el material suelto es para aproximadamente 85% de la densidad máxima relativa a AASHTOT-99.

Nota 2: en el material compacto es para aproximadamente 100% de la densidad máxima relativa a AASHTO T-99.

13.4 La restauración del sitio utilizado para los bancos de materiales se deberá realizar mediante métodos vegetativos y/o biotecnológicos, los mecanismos a utilizar deben estar contemplados en el respectivo plan de gestión.

13.5 El material vegetativo debe ser de fácil prendimiento resistente, y de rápido crecimiento (nativo o autóctono), considerando, las condiciones ambientales para el desarrollo del material.

13.6 Cuando se utilice métodos biotecnológicos, se requiere más atención a los materiales vivos, por lo que será necesario un cronograma de actividades donde se especifique los períodos para el establecimiento del material vegetal.

13.7 Las técnicas de bioingeniería a aplicar serán las siguientes: estacas vivas; reparación de cárcavas con vegetación; gaviones con vegetación y vegetación sembrada entre piedras y otras técnicas que puedan ser aplicadas.

13.8 El constructor debe asumir los costos de restauración del área aprovechada al final del aprovechamiento, independientemente de las condiciones en que se encontraba al momento de iniciar el aprovechamiento.

14. PLAN DE CONTINGENCIA

14.1 El interesado y/o constructor del proyecto debe contar con el equipo mínimo de primeros auxilios y unidad de transporte en caso de accidentes que requieran de atención médica especializada. El personal debe contar con las medidas de seguridad que exige el Ministerio del Trabajo.

14.2 La Compañía debe contar con el personal capacitado para el manejo del equipo pesado cuya operación pueda ocasionar daños a tercera persona.

14.3 La basura y los desperdicios que se generan en los planteles de los bancos de materiales, deben identificarse, clasificarse, manejarse y en su caso controlarse, de manera que no afecten la salud de los trabajadores y a la población cercana al sitio de aprovechamiento. El manejo debe hacerse bajo la

normativa NTON 05 014 -01 Norma técnica ambiental para el manejo tratamiento y disposición final de los desechos sólidos no peligrosos.

14.4 Será responsabilidad de la empresa constructora realizar exámenes pre-empleo, periódicos y pos empleo, de manera obligatoria a los trabajadores que estarán expuestos antes, durante y después a ruidos, actividades físicas intensas y a la exposición de temperaturas extremas, y adoptar medidas para proteger la salud de los trabajadores. Los resultados de los exámenes deben ser enviados al Ministerio del Trabajo.

15. CAMPAMENTOS Y MANTENIMIENTO DE EQUIPO

15.1 La construcción de los dormitorios de los campamentos para los trabajadores que están realizando las labores de aprovechamiento de los bancos de materiales, deben contar con suficiente área de ventilación, y los pisos no deben de ser de tierra.

15.2 Los servicios sanitarios a utilizar deben estar protegidos contra las moscas y deben estar ventilados, se ha previsto un servicio sanitario por cada 10 personas, las letrinas recomendadas serán de acuerdo a las condiciones del sitio y las normativas vigentes.

15.3 La ubicación de los servicios sanitarios debe ser contrario a la dirección del viento con respecto a la instalación de áreas de cocina y dormitorios.

15.4 La ubicación de las letrinas deben estar a un mínimo de 30 metros de la línea de máxima crecida de cualquier cuerpo de agua superficial y la distancia mínima entre el fondo de la letrina y el nivel del agua subterránea debe ser de 2 metros.

15.5 La distancia mínima de ubicación de una letrina con respecto a obras de captación de agua subterránea destinada al consumo humano, debe ser de 50 metros.

15.6 Los desperdicios generados del mantenimiento de los equipos de construcción tales como los hidrocarburos deben ser manejados de acuerdo a la normativa vigente.

15.7 El área de mantenimiento del equipo y transporte no deben estar ubicadas cerca de sitios cercanos a fuentes de agua.

15.8 El área de mantenimiento del equipo y transporte que estén ubicadas cerca de los sitios considerados frágiles ecológicamente, zonas boscosas o áreas protegidas, se registrarán por su respectivo plan de manejo.

16. PROGRAMA DE CIERRE.

16.1 La empresa operadora del banco de materiales debe de cumplir con lo establecido en el Plan de Cierre incluido en el Plan Operativo.

16.2 La empresa tiene la obligación de restaurar el sitio antes de abandonar el lugar.

16.3 Una vez concluidas todas las tareas de cierre y realizadas las obras de restauración la compañía debe de entregar un informe general a la oficina correspondiente del MARENA con una copia a la DGRN del MIFIC, este informe debe contemplar como mínimo lo siguiente:

- a) Cantidad de material extraído y tiempo.
- b) Los impactos ambientales ocasionados.
- c) Las obras de restauración realizadas.
- d) Cantidad de área restaurada.
- e) Informe actual de la calidad del agua en el lugar del banco.
- f) El estado actual de los taludes.
- g) Volumen potencial aprovechable.