

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
Escuela Profesional de Ingeniería Civil



Una Institución Adventista

Calibración de la ecuación de correlación entre el P.D.C (Penetración Dinámica de Cono) y C.B.R (Capacidad de Soporte California) bajo incidencia de la humedad, en suelos a nivel de la subrasante caso de estudio vía Juliaca – Caracoto.

Por:

Jubal Obed Pineda Nina

Asesor:

Ing. Rina Luzmeri Yampara Ticona

Juliaca, enero de 2019

DECLARACION JURADA DE AUTORIA DEL INFORME DE TESIS

Ing. Rina Luzmeri Yampara Ticona, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Civil, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que el presente informe de investigación titulado: "Calibración de la ecuación de correlación entre el P.D.C (Penetración Dinámica de Cono) y C.B.R (Capacidad de Soporte California) bajo incidencia de la humedad, en suelos a nivel de la subrasante caso de estudio vía Juliaca – Caracoto." constituye la memoria que presenta el bachiller Jubal Obed Pineda Nina para aspirar al título Profesional de Ingeniero Civil ha sido realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones en este informe son de entera responsabilidad del autor, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente declaración en Juliaca a los quince días del mes de enero del año dos mil diecinueve.



Ing. Rina Luzmeri Yampara Ticona

Calibración de la ecuación de correlación entre el P.D.C (Penetración Dinámica de Cono) y C.B.R (Capacidad de Soporte California) bajo incidencia de la humedad, en suelos a nivel de la subrasante caso de estudio vía Juliaca – Caracoto.

TESIS

Presentada para optar el título profesional de Ingeniero Civil

JURADO CALIFICADOR



Ing. Rubén Fitzgerald Sosa Aquisé
Presidente



Ing. Juana Beatriz Aquisé Pari
Secretaria



Ing. Willian Apaza Perez
Vocal



Ing. Jorge Llanos Ticona
Vocal



Ing. Rina Luzmeri Yampara Ticona
Asesora

Juliaca, 15 de enero de 2019

DEDICATORIA

A mis Padres Lucas Pineda Riquelme y Feliciano Nina Flores. A mis preciados hermanos Benigno, Ruso; Marimel; Luz; Ewer; Celia y Juana Silvia Pineda Nina. Finalmente, a mis tíos Eudi y Jesús Pineda Riquelme que partieron muy temprano al más allá, y no pudieron presenciar este logro en esta vida.

AGRADECIMIENTO

A Dios eterno por su grata bendición. Al estado peruano, PRONABEC – BECA 18 por darme la oportunidad de demostrar mi talento y vocación para servir a nuestra nación. A la Universidad Peruana Unión y docentes de la carrera de Ingeniería Civil. A la Ingeniero Rina L. Yampara Ticona por ayudarme como mentor en el desarrollo de este trabajo. A la Ingeniero Yesenia Apaza por su apoyo técnico en el laboratorio. A los jurados dictaminadores Ing. Rubén Sosa, Ing. Beatriz Aquis, Ing. Jorge Llanos e Ing. Willian Apaza. A mi amada novia Madeleyne Nedin por su apoyo incondicional.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA.....	IV
AGRADECIMIENTO.....	V
ÍNDICE GENERAL.....	VI
ÍNDICE DE TABLAS.....	XII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XIV
ÍNDICE DE ANEXOS.....	XVIII
GLOSARIO DE TÉRMINOS.....	XIX
RESUMEN.....	XXI
ABSTRACT.....	XXII
CAPÍTULO I.....	23
IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.....	23
1.1. DEFINICIÓN DEL TEMA.....	23
1.2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	23
1.3. ANTECEDENTES.....	25
1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	27
1.4.1. OBJETIVO GENERAL.....	27
1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	27
1.5. JUSTIFICACIÓN.....	27
1.6. ALCANCES Y LIMITACIONES.....	28
CAPÍTULO II.....	29
MARCO TEÓRICO.....	29
2.1. ANTECEDENTES.....	29
2.1.1. ANTEDENTE RELEVANTE 01.....	29
2.1.2. ANTEDENTE RELEVANTE 02.....	29
2.1.3. ANTEDENTE RELEVANTE 03.....	30
2.1.4. ANTEDENTE RELEVANTE 04.....	31
2.1.5. ANTEDENTE RELEVANTE 05.....	31
2.1.6. ANTEDENTE RELEVANTE 06.....	32
2.1.7. ANTEDENTE RELEVANTE 07.....	32

2.1.8.	ANTECEDENTE RELEVANTE 08	33
2.1.9.	ANTECEDENTE RELEVANTE 09	34
2.2.	MARCO TEÓRICO.....	34
2.2.1.	CORRELACIONES EXISTENTES PARA EL ÍNDICE DE PDC.....	34
2.2.2.	SUBRASANTE	35
2.2.2.1.	FUNCIONES DE LA SUBRASANTE	36
2.2.2.2.	CARACTERIZACIÓN DE LA SUBRASANTE	36
2.2.3.	CATEGORÍAS DE LA SUBRASANTE	38
2.2.4.	EXPLORACIÓN DE SUELOS.....	39
2.2.5.	MÉTODOS DE EXPLORACIÓN EN SUELOS	40
2.2.6.	POZOS DE PRUEBA (CALICATAS).....	40
2.2.6.1.	VENTAJAS	41
2.2.6.2.	DESVENTAJAS.....	42
2.2.7.	PRUEBAS DE PENETRACIÓN DINÁMICA DE CONO.....	42
2.2.8.	DESCRIPCIÓN DEL DISPOSITIVO DE PDC.....	43
2.2.9.	CURVA Y DIAGRAMA DE PDC.....	45
2.2.10.	ÍNDICE DE PENETRACIÓN DINÁMICA DE CONO.....	46
2.2.11.	MUESTREO DE SUELOS.....	47
2.2.11.1.	MUESTRAS ALTERADAS	48
2.2.11.2.	MUESTRAS INALTERADAS	48
2.2.12.	CAPACIDAD DE SOPORTE CALIFORNIA (C.B.R)	49
2.2.12.1.	ORIGEN	49
2.2.12.2.	DEFINICIÓN	49
2.2.12.3.	GENERALIDADES	50
2.2.13.	LÍMITES DEL PROFESOR ATTERBERG	51
2.2.13.1.	LÍMITE LÍQUIDO	52
2.2.13.2.	LÍMITE PLÁSTICO	53
2.2.13.3.	LÍMITES DE CONTRACCIÓN.....	53
2.2.13.4.	ÍNDICE DE PLASTICIDAD.....	53
2.2.14.	GRANULOMETRÍA DEL SUELO.....	53
2.2.15.	CONTENIDO DE HUMEDAD.....	56

2.2.16.	DENSIDAD DEL SUELO.....	56
2.2.17.	MEDIDA DE LA RESISTENCIA DE LOS SUELOS DE SUBRASANTE	58
2.2.17.1.	INFLUENCIA DE LA HUMEDAD Y DENSIDAD EN LA RESISTENCIA DEL SUELO	58
2.2.17.2.	DENSIDAD NATURAL MEDIANTE EL MÉTODO DE CORTE DE NÚCLEO	58
2.2.18.	COMPACTACIÓN DE SUELOS MEDIANTE EL MÉTODO PROCTOR	59
2.2.18.1.	DEFINICIÓN.....	59
2.2.19.	SISTEMA DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS	60
2.2.19.1.	MÉTODO AASHTO.....	60
2.2.19.2.	MÉTODO SUCS.....	62
2.2.20.	MODELO DE REGRESIÓN LINEAL SIMPLE.....	64
2.2.21.	COEFICIENTE DE CORRELACIÓN (R^2)	65
2.2.22.	ANÁLISIS DE REGRESIÓN LINEAL MÚLTIPLE	66
2.2.23.	PRUEBA DE NORMALIDAD.....	68
2.2.23.1.	PRUEBA DE SHAPIRO WILK PARA NORMALIDAD.....	68
2.2.24.	COEFICIENTE DE DETERMINACIÓN PEARSON (R)	68
2.2.25.	COEFICIENTE DE CORRELACIÓN MÚLTIPLE (R^2).....	69
2.2.26.	“R” CUADRADA CORREGIDA O AJUSTADA.....	70
2.2.27.	PRUEBA T-Student.....	70
2.2.27.1.	METODOLOGÍA DE LA t – Student.....	70
2.3.	SISTEMA DE VARIABLES.....	72
CAPÍTULO III.....		73
MARCO METODOLÓGICO		73
3.1.	TIPO Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	73
3.1.1.	TIPO	73
3.1.2.	DISEÑO.....	73
3.2.	UNIVERSO, POBLACIÓN Y MUESTRA.....	73
3.2.1.	UNIVERSO	73
3.2.2.	POBLACIÓN.....	73
3.2.3.	MUESTRA.....	74
3.3.	DESCRIPCIÓN DEL LUGAR	77
3.3.1.	UBICACIÓN GEOGRÁFICA	77

3.3.2.	ZONA DE ESTUDIO.....	77
3.3.3.	TOPOGRAFÍA.....	78
3.3.4.	OROGRAFÍA.....	78
3.3.5.	CLIMA.....	79
3.4.	MATERIALES.....	79
3.5.	METODOLOGÍA.....	80
3.6.	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	82
3.6.1.	TÉCNICAS.....	82
3.6.2.	INSTRUMENTOS.....	83
3.6.3.	TRABAJOS DE CAMPO O IN SITU.....	83
3.6.3.1.	EXPLORACIÓN Y MUESTREO DE SUELOS.....	83
3.6.3.2.	ENSAYO DE PENETRACIÓN DINÁMICA DE CONO (PDC).....	85
3.6.4.	TRABAJOS DE LABORATORIO.....	88
3.6.4.1.	CONTENIDO DE HUMEDAD EN EL SUELO.....	88
3.6.4.2.	DENSIDAD NATURAL DEL SUELO.....	91
3.6.4.3.	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL SUELO MEDIANTE TAMIZADO.....	93
3.6.4.4.	LÍMITES DE CONSISTENCIA.....	95
3.6.4.5.	ENSAYO DE CBR SOBRE MUESTRAS INALTERADAS EN LABORATORIO.....	99
3.6.4.6.	ENSAYO DE CBR SOBRE MUESTRAS REMOLDEADAS EN LABORATORIO.....	103
3.7.	HIPÓTESIS.....	107
3.7.1.	HIPÓTESIS GENERAL.....	107
3.7.2.	HIPÓTESIS ESPECÍFICOS.....	107
3.8.	MÉTODO ESTADÍSTICO.....	108
3.8.1.	SOFTWARE SPSS PARA EL ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	108
3.8.2.	PRUEBAS DE NORMALIDAD.....	109
3.8.2.1.	PRUEBAS DE NORMALIDAD PARA EL GRUPO DE SUELOS FINOS.....	109
3.8.2.1.1.	PRUEBA DE NORMALIDAD ENTRE EL CBR y PDC EN SUELOS FINOS.....	110
3.8.2.1.2.	PRUEBAS DE NORMALIDAD ENTRE EL CBR y HUMEDAD EN SUELOS FINOS.....	110
3.8.2.1.3.	PRUEBA DE NORMALIDAD ENTRE EL CBR y DENSIDAD PARA SUELOS FINOS.....	111
3.8.2.2.	PRUEBA DE NORMALIDAD PARA EL GRUPO DE SUELOS ARENOSOS.....	112
3.8.2.2.1.	PRUEBA DE NORMALIDAD ENTRE CBR y PDC EN SUELOS ARENOSOS.....	113

3.8.2.2.2.	PRUEBA DE NORMALIDAD ENTRE CBR y HUMEDAD EN SUELOS ARENOSOS.....	113
3.8.2.2.3.	PRUEBA DE NORMALIDAD ENTRE CBR y DENSIDAD EN SUELOS ARENOSOS.....	114
3.8.3.	ANÁLISIS DE REGRESIÓN LINEAL MÚLTIPLE PARA SUELOS FINOS.....	114
3.8.3.1.	REGRESIÓN LINEAL MÚLTIPLE ENTRE EL CBR, PDC y HUMEDAD %W	115
3.8.3.2.	REGRESIÓN LINEAL MÚLTIPLE ENTRE CBR, IPDC; HUMEDAD %W y DENSIDAD.....	119
3.8.4.	ANÁLISIS DE REGRESIÓN LINEAL MÚLTIPLE PARA SUELOS ARENOSOS	123
3.8.4.1.	REGRESIÓN LINEAL MÚLTIPLE ENTRE CBR, IPDC y HUMEDAD %W	123
3.8.4.2.	REGRESIÓN LINEAL MÚLTIPLE ENTRE CBR, IPDC; HUMEDA %W y DENSIDAD.....	128
	CAPÍTULO IV	132
	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	132
4.1.	RESULTADOS OBSERVADOS PARA LOS SUELOS FINOS.....	132
4.2.	RESULTADOS OBSERVADOS PARA SUELOS ARENOSOS.....	133
4.3.	ECUACIONES DE CORRELACIÓN PARA DETERMINAR EL CBR DE SUELOS FINOS.....	133
4.3.1.	ECUACIÓN EN FUNCION DEL CBR, I_{pdc} Y HUMEDAD %W	133
4.3.2.	ECUACIÓN EN FUNCIÓN DEL CBR, IPDC; %W y DENSIDAD NATURAL.....	134
4.4.	ECUACIONES DE CORRELACIÓN PARA DETERMINAR EL CBR DE SUELOS ARENOSOS.....	134
4.4.1.	ECUACIÓN EN FUNCIÓN DEL CBR, I_{pdc} y HUMEDAD %W.....	134
4.4.2.	ECUACIÓN EN FUNCIÓN DEL CBR, IPDC; %W y DENSIDAD NATURAL.....	135
4.5.	RESULTADOS OBTENIDOS PARA SUELOS FINOS	135
4.6.	RESULTADOS OBTENIDOS PARA SUELOS ARENOSOS.....	138
4.6.1.	PRUEBA DE HIPÓTESIS.....	141
4.6.1.1.	PRUEBAS BILATERALES O DE DOS COLAS	142
4.6.2.	PRUEBA DE HIPÓTESIS PARA LOS SUELOS FINOS EN FUNCIÓN DEL I_{pdc} y %W.....	142
4.6.3.	PRUEBA DE HIPÓTESIS PARA SUELOS ARENOSOS EN FUNCIÓN DEL I_{pdc} y %W.....	144

4.6.4.	PRUEBA DE HIPÓTESIS PARA SUELOS FINOS EN FUNCIÓN DEL I_{pdc} , %W y DENSIDAD.....	145
4.6.5.	PRUEBA DE HIPÓTESIS PARA SUELOS ARENOSOS EN FUNCIÓN DEL I_{pdc} , %W y DENSIDAD	147
	CAPÍTULO V	149
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	149
5.1.	CONCLUSIONES.....	149
5.2.	RECOMENDACIONES	151
	BIBLIOGRAFÍA.....	152
	ANEXOS.....	155

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Resumen de Antecedentes existentes a la investigación.....	25
Tabla 2. Correlaciones existentes entre el ensayo PDC y CBR.....	35
Tabla 3. Número mínimo de puntos de estudio con fines de proyectos viales.....	37
Tabla 4. Número de ensayos Mr y CBR en obras viales.....	38
Tabla 5. Categorías de la subrasante según el valor de CBR de diseño.....	39
Tabla 6. Distribución granulométrica de suelos por el tamaño de partículas.....	55
Tabla 7. Distribución de fracción de suelos y tamaño de partículas.....	55
Tabla 8. Condiciones del suelo según el grado de humedad.....	56
Tabla 9. Sistema de clasificación AASHTO.....	61
Tabla 10. Sistema de clasificación Según SUCS.....	62
Tabla 11. Estructura de los datos para la regresión lineal Múltiple.....	67
Tabla 12. ANOVA para la significancia del modelo de regresión lineal múltiple.....	67
Tabla 13. Cuadro de Interpretación coeficiente de Pearson.....	69
Tabla 14. Sistema de variables independiente y dependiente de la investigación.....	72
Tabla 15. Coordenadas UTM WGS84 de los puntos de investigación.....	75
Tabla 16. Ejemplo en la determinación del I_{pdc}	88
Tabla 17. Resultados del I_{pdc} calculados.....	88
Tabla 18. Cantidad de muestra a utilizar recomendadas para el ensayo de contenido de humedad.....	89
Tabla 19. Carga Unitaria patrón para el cálculo del CBR.....	101
Tabla 20. Datos registrados del ensayo de CBR sobre muestra Inalterada.....	102
Tabla 21. Resultados generados en el ensayo de CBR sobre muestra inalterada.....	103
Tabla 22. Resultados generados en el ensayo de CBR sobre muestra remoldada.....	106
Tabla 23. Resultados observados para la prueba de normalidad en suelos finos.....	110
Tabla 24. Resumen de pruebas de normalidad para suelos finos.....	112
Tabla 25. Resultados observados para la prueba de normalidad en suelos arenosos.....	112
Tabla 26. Resumen de pruebas de normalidad para suelos arenosos.....	114
Tabla 27. Resumen del modelo de regresión para suelos finos.....	116

Tabla 28. Resumen de prueba de significancia ANOVA para suelos finos	117
Tabla 29. Resumen de coeficientes del modelo de regresión lineal múltiple para suelos finos...	117
Tabla 30. Resumen del modelo de regresión para suelos finos	120
Tabla 31. Resumen de prueba de significancia ANOVA para suelos finos	121
Tabla 32. Resumen de coeficientes del modelo de regresión múltiple para suelos finos	121
Tabla 33. Resumen del modelo de regresión para suelos arenosos.....	124
Tabla 34. Prueba de significancia ANOVA para suelos arenosos.....	125
Tabla 35. Coeficientes del modelo de regresión Múltiple para suelos arenosos.....	125
Tabla 36. Resumen del modelo de regresión para suelos arenosos.....	129
Tabla 37. Prueba de significancia ANOVA para suelos arenosos.....	130
Tabla 38. Coeficientes del modelo de regresión múltiple para suelos arenosos.....	130
Tabla 39. Resultados observados para suelos finos	132
Tabla 40. Resultados Observados para suelos Arenosos.....	133
Tabla 41. Resultados obtenidos para suelos finos	135
Tabla 42. Significado de la diferencia de resultados obtenidos en suelo finos.	138
Tabla 43. Resultados Obtenidos para suelos arenosos	138
Tabla 44. Significado de la diferencia de resultados obtenidos en suelo arenosos.	141
Tabla 45. Prueba T - Student para dos muestras suponiendo varianzas iguales en suelos finos	143
Tabla 46. Prueba T Student para dos muestras suponiendo varianzas iguales en suelos arenosos.....	144
Tabla 47. Prueba T Student para dos muestras suponiendo varianzas iguales en suelos finos .	146
Tabla 48. Prueba T Student para dos muestras suponiendo varianzas iguales en suelos arenosos.....	148

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Evolución de la investigación.....	26
Figura 2. Preferencia de las investigaciones en incluir las variables independientes para determinar el CBR	26
Figura 3. Comparación de gráficas entre el PDC y CBR, líneas de tendencia.	30
Figura 4. Curva de correlación entre el CBR y PDC aplicado en la provincia de Ica.	30
Figura 5. Gráfica del PDC in situ y ASTM – CBR laboratorio.	32
Figura 6. Comparación de resultados del ensayo PDC con la función establecida por la norma ASTM D 6951 y la función correlacionada en la investigación de Tegucigalpa, Honduras.....	32
Figura 7. Correlación obtenida entre el PDC y CBR.....	33
Figura 8. Ecuación de correlación determinada entre el PDC y CBR.	34
Figura 9. Representación del nivel de la subrasante en suelos de fundación.....	35
Figura 10. Perfil estratigráfico en exploraciones de suelos	39
Figura 11. Vista transversal de la exploración de suelo mediante calicatas y trinchera.....	41
Figura 12. Características del penetrómetro Dinámico de Cono.	43
Figura 13. Equipo Penetrómetro Dinámico de Cono aplicado en campo.	45
Figura 14. Representación de la curva de Penetración Dinámica de Cono	46
Figura 15. Extracción de muestras alteradas in situ.	48
Figura 16. Extracción de muestras inalteradas, haciendo uso de moldes CBR	48
Figura 17. Equipamiento para el ensayo de Capacidad de Soporte California	49
Figura 18. Aplicación de la carga de penetración en el ensayo de CBR.....	49
Figura 19. Diagrama de esfuerzo VS deformación. extraído de Ramcodes, 2014	50
Figura 20. Ejemplo de determinación del valor de CBR para 0.1” y 0.2” de penetración, recuperado de Das, 2011	51
Figura 21. Corrección de curvas tensión vs Penetración, recuperado de MOPC, 2011	51
Figura 22. Los estados del límite de consistencia en un suelo. Recuperado de Das, 2011.	52
Figura 23. Copa del profesor Casagrande en forma esquemática, recuperado de Das, 2011.	52
Figura 24. Determinación del límite plástico en los suelos.	53

Figura 25. Distribución granulométrica de suelos por tamizado. Recuperado de Mecánica de suelos, Uriel Ortoño.	54
Figura 26. Representación volumétrica del W en una masa de suelo. Recuperado de Soilcomposición.png	56
Figura 27. Composición estructural del suelo, incluye volumen de los sólidos, líquido y sólido.	57
Figura 28. Parámetros de la curva de compactación en suelos. Recuperado de Universidad Politécnica de Valencia, 2012.	60
Figura 29. Carta de plasticidad para el método AASHTO.	61
Figura 30. Carta de plasticidad para el método SUCS.	63
Figura 31. Tipos de diagrama de dispersión o nube de puntos	65
Figura 32. Comparación de significancia, Valor-p > alfa	71
Figura 33. Ubicación de la población y zona de estudio en la investigación	74
Figura 34. Ubicación de los puntos de exploración de la investigación.....	75
Figura 35. Ubicación longitudinal de los puntos de estudio en todo el desarrollo del tramo.....	76
Figura 36. Mapa de localización del proyecto	77
Figura 37. Tramo de estudio de la investigación	78
Figura 38. Topografía del terreno en el tramo de estudio.....	78
Figura 39. Orografía del terreno en el tramo de estudio.....	79
Figura 40. Diagrama de flujo seguido en la investigación	80
Figura 41. Exploración de muestras y aplicación del ensayo PDC in situ.	81
Figura 42. Aplicación el del ensayo de Penetración Dinámica de Cono in situ.	81
Figura 43. Técnicas practicadas en la recolección de los datos.....	82
Figura 44. Procedimiento para trabajos de exploración del suelo en calicatas.	85
Figura 45. Procedimiento de ensayo para la prueba de Penetración Dinámica de Cono.	87
Figura 46. Procedimiento para determinar el contenido de humedad del suelo	90
Figura 47. Procedimiento para determinar la densidad natural del suelo	92
Figura 48. Procedimiento para ensayo de granulometría del suelo mediante tamizado.....	94
Figura 49. Procedimiento para el ensayo del límite líquido del suelo.....	97
Figura 50. Procedimiento de ensayo para límite plástico del suelo.....	98
Figura 51. Procedimiento para el ensayo de CBR sobre muestra inalterada.....	101

Figura 52. Diagrama de esfuerzo vs deformación para determinar el valor de CBR en muestras inalteradas.....	102
Figura 53. Procedimiento de ensayo de CBR sobre muestra remoldada	105
Figura 54. Diagrama de esfuerzo vs deformación para determinar el valor de CBR en muestras remoldadas.....	106
Figura 55. Diagrama de Densidad vs CBR sobre muestras remoldeadas.	107
Figura 56. Facilidades que entrega el Software SPSS	108
Figura 57. Ventana de trabajo del Software SPSS Statistics 24.	109
Figura 58. Puntos de dispersión para prueba de normalidad entre CBR y PDC.....	110
Figura 59. Puntos de dispersión para prueba de normalidad entre el CBR y humedad	111
Figura 60. Puntos de dispersión para pruebas de normalidad entre CBR y Densidad natural.	111
Figura 61. Puntos de dispersión para pruebas de normalidad entre CBR y PDC en suelos arenosos.	113
Figura 62. Puntos de dispersión para pruebas de normalidad entre el CBR y Humedad en suelos arenosos.....	113
Figura 63. Puntos de dispersión para prueba de normalidad entre el CBR y densidad natural en suelos arenosos.	114
Figura 64. Regresión Lineal Múltiple CBR, Ipdc y %W para suelos finos	118
Figura 65. Superficie de respuesta CBR, Ipdc y %W para suelos finos	119
Figura 66. Regresión Lineal Múltiple CBR, Ipdc; Humedad y Densidad en suelos finos.	123
Figura 67. Regresión lineal múltiple CBR, Ipdc Y %W en suelos arenosos	127
Figura 68. Superficie de respuesta CBR, Ipdc y Humedad para suelos arenosos.....	127
Figura 69. Regresión Lineal Múltiple entre el CBR, Ipdc; Humedad y Densidad para suelos arenosos	131
Figura 70. Comparación de resultados CBR laboratorio vs ASTM en suelos finos.	136
Figura 71. Comparación de resultados CBR laboratorio vs ecuación 01 en suelos finos.....	136
Figura 72. Comparación de resultados CBR laboratorio vs ecuación 02 en suelos finos.....	137
Figura 73. Comparación de resultados CBR laboratorio vs ASTM D 6951-09 para suelos arenosos.....	139
Figura 74. Comparación de resultados CBR laboratorio vs Ecuación 01 en suelos arenosos	139

Figura 75. Comparación de resultados CBR laboratorio vs Ecuación 02 en suelos arenosos.	140
Figura 76. Distribución T-Student para suelos finos	143
Figura 77. Distribución T- Student para suelos arenosos.....	145
Figura 78. Distribución T - Student para suelos finos	147
Figura 79. Distribución T - Student para suelos arenosos.....	148

ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A: Panel Fotográfico.....	155
Anexo B: Ensayos de Campo y Laboratorio	165
Anexo B-1: Exploración de Calicatas y Ensayo de Penetración Dinámica de Cono.....	165
Anexo B-2: Granulometría, Límites de consistencia y Clasificación de suelos	182
Anexo B-3: Capacidad de Soporte California (c.b.r)	202
Anexo C: Plano de Ubicacación del Proyecto.....	226
Anexo D: Certificado de Laboratorio	227

GLOSARIO DE TÉRMINOS

- ◆ %W : Porcentaje de Humedad del Suelo.
- ◆ °C : Grados centígrados.
- ◆ AASHTO : Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes.
- ◆ ASTM : Asociación Americana de Ensayo de Materiales.
- ◆ C-01 : Calicata 1, 2, 2, ..., "n"
- ◆ CBR : Capacidad de Soporte California.
- ◆ Cc : Coeficiente de Curvatura.
- ◆ CL : Arcillas de baja plasticidad.
- ◆ CPT : Ensayo de Penetración de Cono.
- ◆ Cu : Coeficiente de Uniformidad.
- ◆ D₁₀ : Diámetro Correspondiente al 10% del suelo que pasa por un tamiz.
- ◆ D₃₀ : Diámetro Correspondiente al 30% del suelo que pasa por un tamiz.
- ◆ D₆₀ : Diámetro Correspondiente al 60% del suelo que pasa por un tamiz.
- ◆ E-01 : Estrato de suelo número 1, 2, 3, ..., "n"
- ◆ EMS : Estudio de Mecánica de Suelos.
- ◆ GPS : Sistema de Posicionamiento Global.
- ◆ γ_s : Densidad natural del suelo.
- ◆ IG : Índice de Grupo.
- ◆ IP : índice de Plasticidad del suelo.
- ◆ IPDC : Índice de Penetración Dinámica de Cono.
- ◆ LL : Límite Líquido del suelo.

- ◆ LP : Límite Plástico del suelo.
- ◆ m : Masa del suelo por una unidad de volumen.
- ◆ MDS : Máxima Densidad Seca.
- ◆ MH : Limos de alta plasticidad.
- ◆ ML : Limos de baja plasticidad.
- ◆ MOPC : Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones.
- ◆ Mr : Módulo de Resiliencia.
- ◆ MTC : Ministerio de transportes y comunicaciones.
- ◆ N.F. : Nivel Freático en el suelo.
- ◆ Ø : Diámetro.
- ◆ OCH : Óptimo Contenido de Humedad.
- ◆ PDC : Penetración Dinámica de Cono.
- ◆ R : Coeficiente de determinación Pearson.
- ◆ R² : Coeficiente de correlación Múltiple.
- ◆ SP : Arenas pobremente graduadas.
- ◆ SPT : Ensayo de Penetración Estándar.
- ◆ SW : Arenas bien graduadas.
- ◆ UTM : Sistema de Coordenadas Universal Transversal de Mercator.
- ◆ v : Volumen del suelo.
- ◆ VCL : Acero para fabricación del equipo PDC.

RESUMEN

El principal propósito del presente trabajo de Investigación surge con la necesidad de alcanzar un aporte mediante soluciones prácticas en el estudio de mecánica de suelos. Todo ello con el propósito de determinar la capacidad de soporte del suelo de fundación con fines de cimentaciones en obras viales haciendo uso del equipo PDC. La normativa Internacional ASTM D 6951-09, presenta la metodología de su uso expresando una ecuación de correlación para determinar el valor de CBR en función del CBR e I_{pdc} . Pero esta investigación revela una ecuación calibrada bajo incidencia del grado de humedad (%W) y adicionalmente la densidad del suelo (γ_s) en su estado natural. La ejecución del proyecto ha sido efectuada en el tramo de la carretera Juliaca – Caracoto con un desarrollo total de 4+010km. La metodología contempla el ensayo de Penetración Dinámica de Cono in situ del cual se obtiene el (I_{pdc}) y el CBR del suelo sobre muestras inalteradas incluido los ensayos convencionales para clasificación del tipo de suelo y la densidad natural mediante el método de cortador de núcleo. Siendo estos parámetros naturales de los suelos estudiados. Se ha calibrado dos ecuaciones de correlación para dos tipos de suelos. La primera para suelos finos (ML, CL, MH) y la segunda suelos arenosos (SW, SP). Para los dos tipos de suelos en la primera ecuación se ha incluido los parámetros CBR, I_{pdc} y la humedad, observando que la correlación no presenta mucha significancia ni buen grado de ajuste. A esta misma correlación se ha incluido en particular la densidad natural del suelo generando otra ecuación de correlación que mejora y resulta tener una mayor bondad de ajuste y confiabilidad para su uso en la determinación del CBR aplicado en ambos tipos de suelos. Finalmente, cabe precisar y recomendar también estadísticamente la confiabilidad de uso a la segunda ecuación para cada tipo de suelo clasificado que se enumera como (ecuación 46 y 48).

Palabras Clave: Capacidad de Soporte California, Índice de PDC; Humedad Natural; Densidad Natural; Calibración.

ABSTRACT

The main purpose of this research work arises with the need to achieve a contribution through practical solutions in the study of soil mechanics. All this with the purpose of determining the support capacity of the foundation soil for foundations in road works using the PDC equipment. The International Standard ASTM D 6951-09, presents the methodology of its use expressing a correlation equation to determine the value of CBR according to the CBR and I_{pdc} . But this research reveals a calibrated equation under the influence of the degree of humidity (% W) and additionally the density of the soil (γ_s) in its natural state. The execution of the project has been carried out on the section of the Juliaca - Caracoto highway with a total development of 4 + 010km. The methodology contemplates the in situ Cone Dynamic Penetration test from which the (I_{pdc}) and the CBR of the soil are obtained on undisturbed samples including the conventional tests for classification of the soil type and natural density by means of the core cutter method. Being these natural parameters of the soils studied. Two correlation equations have been calibrated for two types of soils. The first for fine soils (ML, CL, MH) and the second sandy soil (SW, SP). For the two types of soils in the first equation, the parameters CBR, I_{pdc} and humidity have been included, observing that the correlation does not have much significance or a good degree of adjustment. To this same correlation the natural density of the soil has been included in particular, generating another correlation equation that improves and it turns out to have a greater goodness of fit and reliability for its use in the determination of the CBR applied in both soil types. Finally, it is also necessary to specify and recommend statistically the reliability of use to the second equation for each type of classified soil that is listed as (equation 46 and 48).

Key Words: California Bearing Ratio, PDC Index; Natural Humidity; Natural Density; Calibration.

CAPÍTULO I

IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

1.1. DEFINICIÓN DEL TEMA

El tema de investigación busca revelar los resultados de calibración de la ecuación de correlación entre el ensayo de PDC (Penetración Dinámica de Cono) y CBR (Capacidad de soporte California) que rige la Normativa Internacional ASTM D 6951 – 09. Pero bajo efectos del contenido de humedad (%W) natural del suelo. La investigación surge a raíz de que hoy en día se ve la gran importancia del estudio de mecánica de suelos (EMS). Para estos estudios se tiene muchos ensayos y métodos convencionales, a excepción del método de PDC que aún no es normativo, pero si aplicativo en otros países menos en nuestro país.

Con el desarrollo de la presente investigación se desea calibrar la ecuación ASTM D 6951, aplicado en suelos a nivel de la subrasante aplicado en la vía Juliaca – Caracoto. Generando una nueva ecuación de correlación entre el ensayo de PDC (Penetración Dinámica de Cono) y CBR (Capacidad de soporte California) y %W (grado de humedad del suelo. Adicionalmente la densidad natural del suelo (γ_s).

El planteamiento recurre más allá de estas dos variables que viene a ser el PDC y CBR. Se plantea la existencia de otro factor que interviene directamente a la determinación de estos valores y es el Contenido de Humedad del suelo en su estado natural. Entonces la fórmula matemática para determinar el índice de CBR que plantea la normativa internacional ASTM D 9651 que es de dos variables PDC y CBR. En esta investigación se plantea la ecuación afectado por el contenido de humedad (PDC, CBR, W%) y adicionalmente se incorpora la densidad natural del suelo (γ_s).

1.2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

En el Perú, el crecimiento de la población genera el aumento del volumen de tránsito. Este hecho deriva en la necesidad de habilitación, construcción y mantenimiento de las vías de tránsito. Para la ejecución de estas infraestructuras inmobiliarias es indispensable y de gran responsabilidad la ubicación y colocación de las mismas sobre terrenos de fundación con características óptimas de resistencia. Ya que solamente de esa forma se puede tener la seguridad del correcto funcionamiento y operación durante su vida útil.

En muchos proyectos no se da gran importancia al estudio de mecánica de suelos. Por muchos factores, siendo el tiempo, la economía, toma de decisiones, etc. Es por ello que

se observa deterioro de las carreteras y fallas en la estructura del pavimento. Porque el terreno de fundación en la cual ha sido cimentada es inadecuado.

Actualmente en la elaboración de proyectos viales, en su diseño y construcción se requiere de estudios geotécnicos con fines de estimar la capacidad de soporte california de la subrasante. Para tales fines se utilizan métodos directos como el ensayo de CBR (Capacidad de Soporte California) en laboratorio. Este es un parámetro indispensable para el diseño de las capas del pavimento. El ensayo es regido por las normas (ASTM D1883, MTC E132-2000, AASHTO T193) que tarda un tiempo de (96 horas sumergido) es decir 4 días.

El material del cual se requiere para un ensayo de CBR es un aproximado de 40Kg de suelo para efectuar los ensayos de compactación previo, para obtener la máxima densidad seca (MDS) y el óptimo contenido de humedad (OCH). Este mismo también servirá para preparar los tres especímenes, que serán compactados de 10, 25 y 56 golpes, con el fin de calcular el CBR (capacidad de soporte california). Todo este trabajo solo para un tipo de terreno y si en el tramo de diseño identificamos diferentes tipos de suelos tendremos la necesidad de conocer la resistencia de CBR en cada uno de ellos. Para no tener defectos en el diseño estructural de un pavimento.

Pero frecuentemente estos son difíciles y costosos. Además, una unidad de ensayo puede tener un costo de aproximadamente S/ 215 soles. Para ejecutar los trabajos experimentales en laboratorio, se necesita una experiencia y conocimiento amplio del procedimiento a seguir para no tener datos y resultados defectuosos. Debido a esto, se recurre a métodos indirectos como el ensayo de PDC (Penetración Dinámica de Cono), que tiene una aplicación muy significativa, en términos de tiempo, costo; dirección técnica para efectuar los trabajos experimentales y obtención de los resultados.

Para la ejecución del ensayo PDC la Norma (ASTM D 6951 – 03) ha establecido una expresión matemática, e indica la posibilidad de su uso según el tipo de suelo. Pero no considera las condiciones y características del suelo. Entonces la inconsecuencia de los suelos es considerable, no todos son iguales o de similares características en todo lugar. Es por ello se requiere una calibración de la fórmula tomando en consideración el grado de humedad natural del suelo, con la finalidad de corroborar la aplicación en suelos de nuestra zona. Para ello se realizará un trabajo experimental dentro de la región de Puno, en la vía Juliaca - Caracoto.

1.3. ANTECEDENTES

En su mayoría de los estudios realizados relacionados al tema de investigación, se hallaron los siguientes resultados que corresponden a diferentes autores.

En la tabla 1 se muestra el año de desarrollo de la investigación la autoría; la temática; los objetivos de la investigación, los materiales y la metodología con sus respectivos resultados confirmado con su coeficiente de correlación.

Tabla 1
Resumen de Antecedentes existentes a la investigación

N°	Año	Autor (res)	Temática desarrollada	Objetivos	Materiales	Método	Resultados	R ²
1	2005-2006	Viscara, 2005-	El PDC y su aplicación en la evaluación de los suelos	Determinar la ecuación de correlación y sus características inherentes	Suelos arenosos y arcillosos	Correlación entre PDC y CBR, W%	$CBR=242/DCP^{0.975}$, $CBR=2.29PDC^{1/w-0.22w}$	0.972
2	2011	Osorio y Casa (2011)	Comparación de la ecuación ASTM y de localidad de suba	Generar una ecuación propia y comparar	Limos arcillosos	Correlación entre PDC y CBR	$CBR=4.2553PDC^{0.5128}$	0.4134
3	2012	Injante (2012)	Determinación de la ecuación de correlación para la provincia de Ica	Comparar la ecuación y analizar los datos	Arena Limo arcilloso	Correlación entre el PDC y CBR	$CBR=187.77/PDC^{0.95}$	0.9224
4	2012	Paucar (2011-2012)	Determinación de la ecuación con fines de diseño de pavimentos	Determinar la ecuación de correlación entre el PDC y CBR en una	Arena Limosa y Limos inorgánicos	Correlación entre el PDC y CBR	$CBR = 0.24PDC^3 - 3.22PDC^2 + 13.20PDC - 3.15$ $CBR = 0.10PDC^2 - 3.22PDC^3 + 1.60PDC + 18.82$	0.28 y 0.23
5	2013	Chango, Kyu, Wontaek y Woojin (2013)	Propiedades del suelo mediante el ensayo de PDC	Determinar las propiedades del suelo mediante el método PDC	Arenas pobremente graduadas, Arenas Limosas	Correlación entre el PDC y CBR	$\log(CBR) = 3.93 - 1.47 * (\log IPD_{200})$ $Log(CBR) = 2.51 - 1.074Log(IPDC)$	0.93
6	2013	Mukesh et al (2013)	Determinar la ecuación de correlación entre el PDC, W% y LL	Determinar el índice de soporte con tres variables	CH, CL, CL-ML, CI	Correlación entre el PDC, W%, CBR y LL	$CBR = 0.26235IPDC - 0.29716W_{LL} - 0.34999MC + 18.59709$	0.83
7	2016	Bermúdez y Vásquez (2016)	Validación de la ecuación de ASTM D 6951	Validar la ecuación ASTM	Arenoso limoso, gravoso arenoso	Correlación entre el PDC y CBR	$CBR=287.58/PDC^{1.103}$	0.88
8	2017	Sanchez y Pérez, (2017)	Ecuación de correlación para la localidad de picisi	Determinar la ecuación de Corr. CBR y PDC	Arena Limosa y Arcilla arenosa	Correlación entre el PDC y CBR	$CBR = 0.3138PDC^3 - 5.1495PDC^2 + 25.226PDC - 16.98$ $CBR = -0.7434PDC^2 + 21.661PDC^3 - 208.63PDC + 667.29$	0.9765
9	2017	Amadi, et al (2017)	Determinar la ecuación de correlación en una vía	Determinar la ecuación de Corr. CBR y PDC	Arena limosa, Arcil	Correlación entre el PDC y CBR	$Log(CBR) = 2.51 - 1.074Log(IPDC)$	0.93

En el cuadro se muestra un bosquejo de forma cronológica de las investigaciones realizadas en diferentes años y lugares a nivel nacional e internacional.

En la siguiente gráfica se muestra la evolución de la investigación con respecto al tema de investigación, según los años muchos de los autores citados ratificaron las investigaciones realizadas en los primeros años. Este proceso siguió desde el año 1968 al 2017.

Con respecto al presente año 2018, no se hallaron investigaciones relacionadas a la temática que se aborda. Tal es el caso que no se incluye en esta leyenda de la evolución.

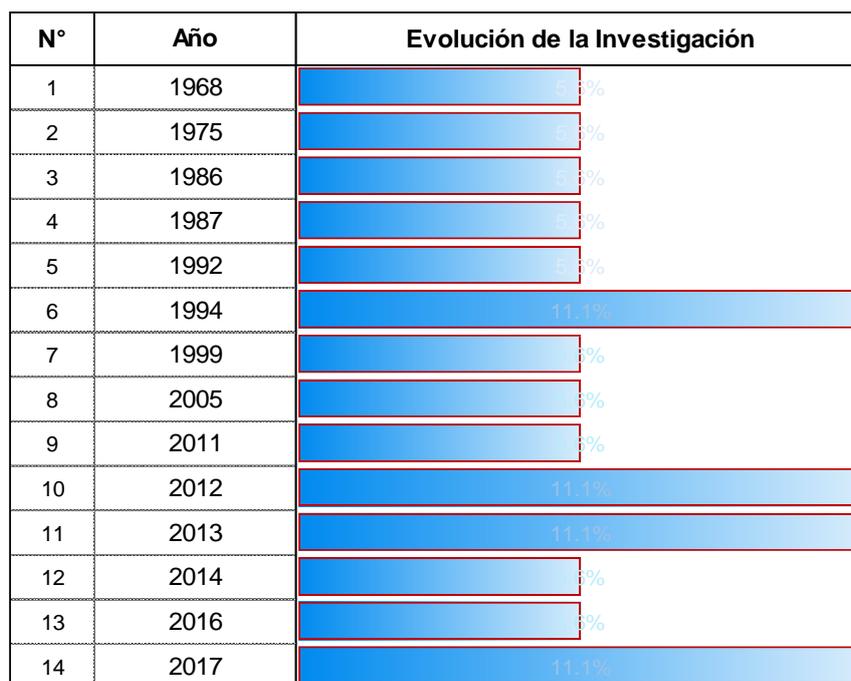


Figura 1. Evolución de la investigación

De igual forma se analiza las investigaciones que tuvieron mayor preferencia con respecto a las variables independientes a incluir. En la figura 2 se puede observar que un 72% de la investigación ha sido realizada incluyendo el CBR y el Ipdc, seguido en un 17% por el LL y %W, y un 11% en función del Ipdc y %W finalmente se observa que no hubo investigación incluyendo variables como el CBR, Ipdc, %W y γ_s la cual es un alcance adicional al tema de investigación.

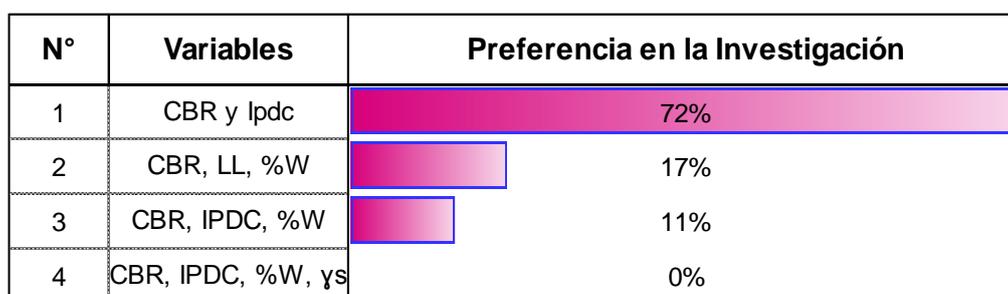


Figura 2. Preferencia de las investigaciones en incluir las variables independientes para determinar el CBR.

1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. OBJETIVO GENERAL

OG Calibrar la ecuación de correlación entre el P.D.C (Penetración Dinámica de Cono) y C.B.R (Capacidad de soporte California), regido por la norma ASTM D 6951, bajo incidencias de la humedad (%W) para suelos a nivel de la subrasante en la vía Juliaca – Caracoto.

1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

OE1 Determinar el índice de P.D.C mediante pruebas de campo en los puntos de exploración.

OE2 Estimar la Capacidad de Soporte California (CBR). Mediante ensayos de laboratorio sobre muestras inalteradas y remoldadas para todos los puntos de exploración.

OE3 Analizar la variabilidad de los resultados entre los ensayos convencionales de CBR en (laboratorio) sobre muestras inalteradas y el método indirecto PDC en (campo).

OE4 Calibrar la ecuación de correlación ASTM D 6951 entre el PDC, CBR, (%W) y adicionalmente (γ_s) del suelo natural.

1.5. JUSTIFICACIÓN

En todo proyecto de Infraestructura vial, desde una trocha carrozable hasta una autopista de primera clase, es indispensable la determinación del CBR (Capacidad de soporte California). Este ensayo debe estar contemplado en el contenido de todo proyecto cualquiera sea la naturaleza del suelo. Además, este parámetro es utilizado en los cálculos de dimensionamiento estructural del espesor del pavimento. No sólo ello, sino también mediante este valor se puede caracterizar el tipo de suelo de fundación que se tiene debajo de la subrasante. Este parámetro nos ayuda a tomar serias decisiones, puede ser de eliminar completamente el suelo existente y reemplazarlo por otro que tenga mayor capacidad, o fundar sobre ella sin necesidad de hacer mayores movimientos y eliminación de suelos.

Para estimar este valor se debe de realizar los trabajos experimentales de laboratorio, que demandan tiempo, y además son engorrosos y tiene un alto costo. Con afanes de solucionar esta problemática, se ha creado un instrumento versátil, liviano y de fácil

transportabilidad en Sudáfrica, en el año 1969 bajo la autoría de Van Vuuren y ahora regido por la Norma ASTM D 9651.

En el Perú no se tiene una normativa establecida y estandarizada para la aplicación de este método. Pero si investigaciones en diferentes departamentos y ciudades, específicamente en la nuestra zona de estudio no existe. Es por ello en la presente investigación se presenta una ecuación calibrada diferente a lo de la Normativa mencionada y su aplicación en la vía Juliaca - Caracoto.

Por otro lado, el aporte de este trabajo es muy importante pues se calibrará la ecuación ASTM D 6951 – 09, y su aplicabilidad en los suelos del altiplano Puno. Pero con limitaciones en sus características, siendo únicamente los suelos finos (ML, MH y CL) y arenosos (SW y SP). Además, se planteará una ecuación de correlación calibrada con parámetros aplicables a la zona de estudio. La futura metodología a aplicar será tan solo realizar el ensayo de PDC, %W y γ_s en campo y con la ecuación existente determinar el valor de CBR.

1.6. ALCANCES Y LIMITACIONES

Debido a que el tramo total de la carretera comprende un desarrollo longitudinalmente de (50.80 km). Y para su estudio integral requiere demanda de tiempo y costo, debido a este factor y otros. El ámbito de aplicación de la presente investigación será la región de Puno, la vía Juliaca – Caracoto (Tramo 0+000.00 al 4+010.00) km. Este tramo ha sido tomado bajo los criterios del tamaño de población y las características próximas del suelo a estudiar. En los estudios básicos de mecánica de suelos a nivel de la subrasante de la vía Juliaca - Caracoto, se ha identificado los suelos más relevantes agrupados en suelos finos (ML, MH y CL) y suelos arenosos (SW y SP). Estos suelos en sus aspectos físicos y mecánicos, aislando las propiedades químicas y biológicas para trabajos especializados a profesionales que les corresponde con fines similares u otros.

Para la calibración de la ecuación de correlación ASTM D 6951-09 se ha realizado el ensayo de CBR sobre muestra inalterada en suelos arcillosos y otro grupo de suelos arenosos remoldada en laboratorio a humedad y densidad natural identificado en campo. Particularmente se ha medido las propiedades físicas como el grado de humedad y densidad que será incluido en la calibración de la ecuación de correlación siguiendo procedimientos y normas técnicas que rigen dichos ensayos en el ámbito nacional e internacional como la ASTM D-1883, AASHTO T-193, MTC E 132-2000 y ASTM D 6951-03.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES

2.1.1. ANTECEDENTE RELEVANTE 01

Viscarra (2006) hizo un estudio en la cual se ha establecido la existencia de una correlación significativa entre el valor de CBR y el número de PDC mediante un análisis de regresiones que muestran los siguientes resultados.

$$\text{Log}(CBR) = 2.38393 - 0.97\text{Log}(DCP) \quad (1)$$

Expresado en otra forma:

$$CBR = \frac{242}{DCP^{0.975}} \quad (2)$$

Este resultado ha sido evaluado mediante el factor de correlación que representa un $R^2 = 0.972$ que sería muy próximo a 1. Ya que el criterio en la regresión ya sea lineal, polinómica o logarítmica tomamos a la expresión que se acerque más a la unidad.

2.1.2. ANTECEDENTE RELEVANTE 02

Osorio y Casa (2011) determinaron una ecuación de correlación del P.D.C con el C.B.R para dicha localidad y realizar una comparación con la ecuación tomada del manual "DESCRIPTION AND APPLICATION OF DUAL MASS DYNAMIC CONE PENETROMETER - US Army Corps of Engineers", que sería la misma de la ecuación que expresa la ASTM D 6951.

En este antecedente se concluye diciendo que la determinación del CBR haciendo uso de la ecuación de correlación conseguida en los suelos colombianos son de menor valor a los obtenidos mediante la ecuación del "Us Army Corps of Engineers" finalmente recomiendan los autores que es necesario calibrar una ecuación determinada para cada zona de un país.

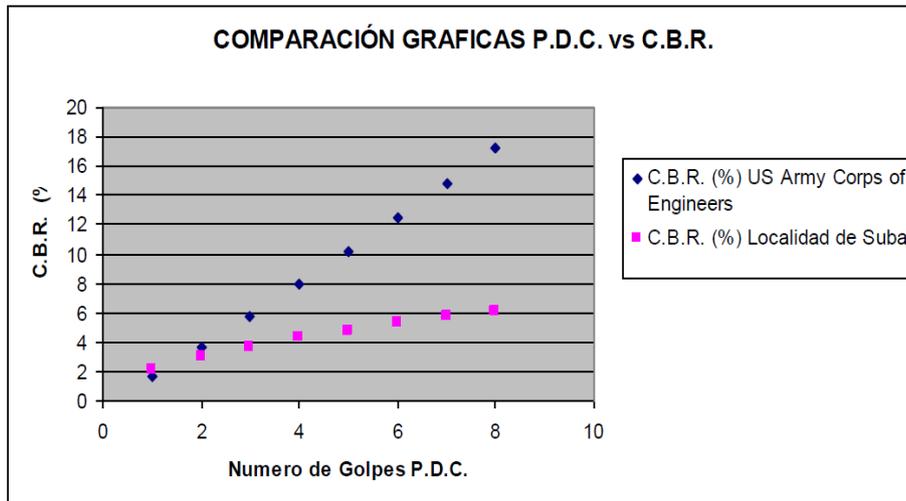


Figura 3. Comparación de gráficas entre el PDC y CBR, líneas de tendencia.

2.1.3. ANTECEDENTE RELEVANTE 03

Injante (2012) parte la investigación con la construcción del equipo P.D.C con las características señaladas más adelante, y normalizado por la ASTM la cual consiste en el ensayo de suelos en estado natural de doce distritos en la provincia de Ica obteniendo así el índice de N(mm/golpe).

De igual forma en los mismos suelos se ensaya el C.B.R en laboratorio con muestras inalterada, obteniéndose así una ecuación de correlación para cada distrito estudiado y una general con los resultados obtenidos. Llegando a la conclusión de que los cálculos aplicados en la ecuación obtenida tienen mayor aproximación a los resultados originales y mucho más cercanos que los obtenidos mediante la ecuación de la ASTM o cuerpo de Ingenieros de USA.

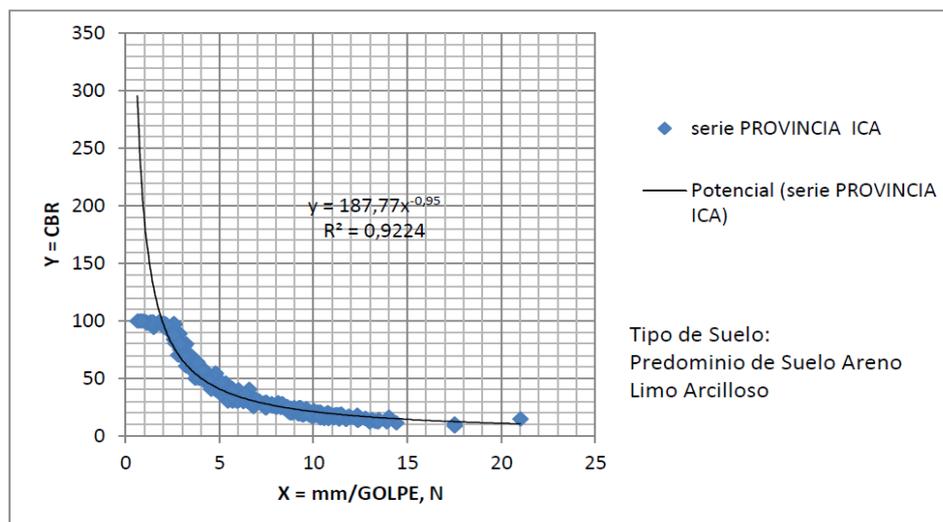


Figura 4. Curva de correlación entre el CBR y PDC aplicado en la provincia de Ica.

La ecuación de correlación obtenida de todos los estudios realizados, como consolidado de la provincia de Ica es tal como se exhibe en la ecuación número [3] que valida con el coeficiente de correlación $R^2 = 0.9224$ para un suelo predominante Arena Limo Arcilloso.

$$CBR = \frac{187.77}{DCP^{0.95}} \quad (3)$$

2.1.4. ANTECEDENTE RELEVANTE 04

Paucar (2012) hizo una investigación la cual tiene como fin determinar la ecuación de correlación en una vía con fines a diseño de pavimentos, entre los resultados que se exponen en la investigación se tienen lo siguiente.

Tipo de suelos: SM (Arena Limosa), con coeficiente de correlación $R^2 = 0.28$

$$CBR = 0.24PDC^3 - 3.22PDC^3 + 13.20PDC - 3.15 \quad (4)$$

Tipo de suelos: ML (Limos Inorgánicos), con coeficiente de correlación $R^2 = 0.23$

$$CBR = 0.10PDC^2 - 3.22PDC^3 + 1.60PDC + 18.82 \quad (5)$$

2.1.5. ANTECEDENTE RELEVANTE 05

Sanchez y Pérez (2017) se correlacionó los resultados del Penetrómetro Dinámico de Cono (PDC in situ) con respecto al California Bearing Ratio (CBR de laboratorio de diseño) y se obtuvo 2 ecuaciones: La ecuación [6] para el tipo de suelo SM de la localidad de Picsi, y la ecuación [7] para los tipos de suelos: CL y CL-ML de la localidad de Picsi con un coeficiente de correlación $R^2 = 0,9765$; la ecuación polinómica es aplicable para suelos con las características mencionadas en esta investigación, siendo confiables y aceptables en un 97.65% y un 99%.

Tipo de suelos: SM (Arena Limosa)

$$CBR = 0.3138PDC^3 - 5.1495PDC^2 + 25.226PDC - 16.98 \quad (6)$$

Tipo de suelos: CL - ML (Arcilla Arenosa de baja plasticidad),

$$CBR = -0.7434PDC^2 + 21.661PDC^2 - 208.63PDC + 667.29 \quad (7)$$

2.1.6. ANTECEDENTE RELEVANTE 06

Bermúdez y Vásquez (2016) revelan los resultados del estudio de validación de método PDC (Dynamic Cone Penetrometer) para encontrar un CBR (California Bearing Ratio) in situ que se pueda comparar con un CBR determinado en laboratorio. Estos estudios fueron realizados para suelos tipo arenoso limoso y gravoso arenoso el cual afirma la aplicación de la ecuación que muestra la norma ASTM D 6951, habiendo una similitud y varianza mínima como muestra los resultados.

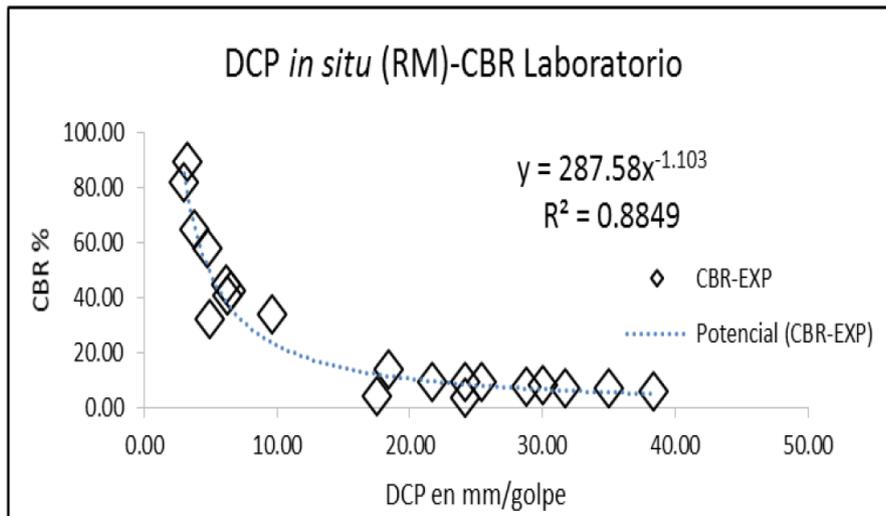


Figura 5. Gráfica del PDC in situ y ASTM – CBR laboratorio.

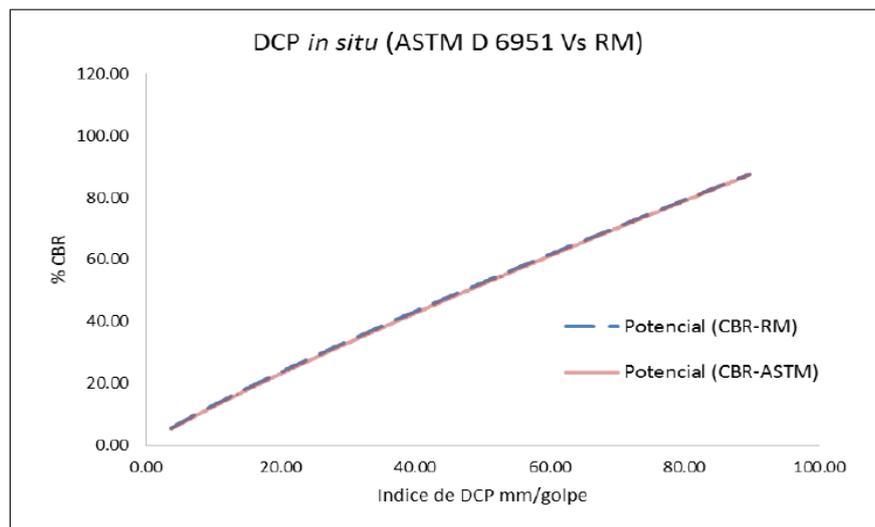


Figura 6. Comparación de resultados del ensayo PDC con la función establecida por la norma ASTM D 6951 y la función correlacionada en la investigación de Tegucigalpa, Honduras.

2.1.7. ANTECEDENTE RELEVANTE 07

Chango, Kyu; Wontaek y Woojin (2013) obtuvieron resultados relacionado al tema de estudio. En este estudio se determina las propiedades del suelo, haciendo uso de

metodología estrictamente en laboratorio. La cual ha sido practicada sobre suelos arenosos pobremente graduada (SP), arena bien graduada con presencia de limo (SW-SM). Además, los materiales de ensayo fueron compactados haciendo uso de un contenedor grande. En el trabajo se precisa que el grado de humedad interviene significativamente. Finalmente, el trabajo de investigación revela como resultado la siguiente ecuación de correlación.

Tipo de suelos: (SP, SM, SW-SM), con coeficiente de correlación $R^2 = 0.93$

$$\log(CBR) = 3.93 - 1.47 * (\log IPD_{200}) \quad (8)$$

Donde: IPDC= índice de Penetración Dinámica de cono a 200mm/por golpe.

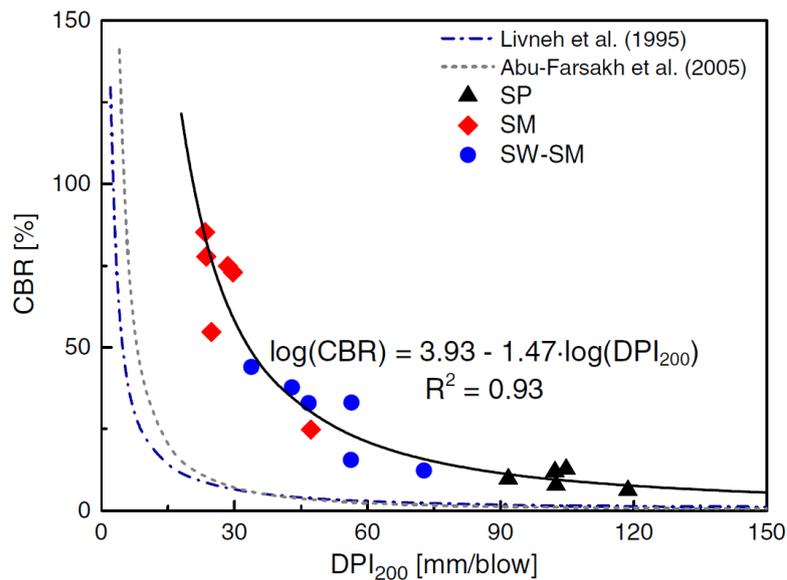


Figura 7. Correlación obtenida entre el PDC y CBR.

2.1.8. ANTECEDENTE RELEVANTE 08

Mukesh, Patel y Gautam (2013), demuestran un estudio de predicción de la capacidad de resistencia de suelos a nivel de la subrasante. En esta investigación se ha utilizado el ensayo de Penetración Dinámica de Cono, el ensayo de límite líquido modificado y el contenido de humedad del suelo. La aplicabilidad se hizo sobre suelos (SM, CH, CL, CL-ML, CI). En su estudio demuestran estadísticamente una muy buena correlación entre estas tres variables. La comprobación realizada fue mediante regresiones lineales con coeficiente de correlación muy ajustada.

Tipo de suelos: (CH, CL, CL-ML, CI), con coeficiente de correlación $R^2 = 0.83$

$$CBR = 0.26235IPDC - 0.29716W_{LM} - 0.34399MC + 18.59709 \quad (9)$$

Donde:

W_{LM} : Límite líquido modificado, MC: Contenido de humedad del suelo.

2.1.9. ANTECEDENTE RELEVANTE 09

Amadi, Sadiku, Abdullahi y Danyaya (2017) revelaron resultados en un estudio de una vía en proceso de construcción. En este estudio fue practicada el ensayo de penetración dinámica de cono en el tramo de una carretera en proceso de construcción, evaluando la capacidad de soporte en el subsuelo, la base y subbase.

Tipo de suelos: (SM, CL, SC), con coeficiente de correlación $R^2 = 0.93$

$$\text{Log}(CBR) = 2.51 - 1.074\text{Log}(IPDC) \quad (10)$$

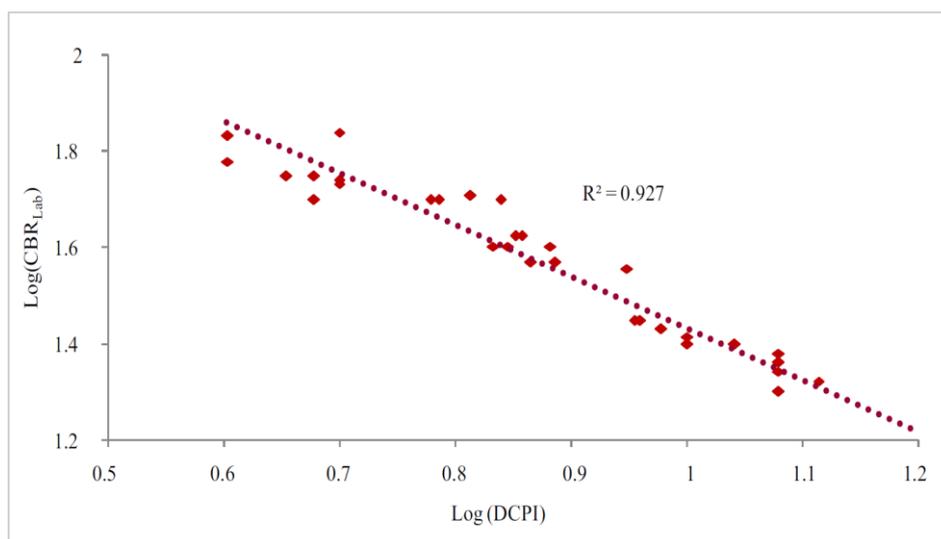


Figura 8. Ecuación de correlación determinada entre el PDC y CBR.

2.2. MARCO TEÓRICO

2.2.1. CORRELACIONES EXISTENTES PARA EL ÍNDICE DE PDC

El desarrollo de varias investigaciones conforme pasó los años, revelaron muchos resultados de correlación entre el PDC y CBR. Estos resultados tienen diferentes autorías, muchos de ellos tomados por las normativas. Pero la mayoría de ellos son fundamentadas en la Normativa ASTM D 6951. En la tabla 2 se muestran los resultados obtenidos y existentes hasta la fecha más cercana.

Tabla 2

Correlaciones existentes entre el ensayo PDC y CBR.

Relación entre PDC (mm/golpe)	ECUACIÓN	AUTOR/AUTORES	APLICACIÓN
Valor de soporte california (CBR%)	$CBR = \frac{292}{IPDC^{1.12}}$	Van Vuren (1968), Kley (1975), Livneh e Isahi (1987), Webster (1992) y Siekmeir (1999)	Apta para todo tipo de suelos (granulares y cohesivos)
Valor de soporte california (CBR%)	$CBR = 2.317 - 0.8581 \log(DCP)$	Transport Road Research TRRL (1986)	Apta para todo tipo de suelos
Valor de soporte california (CBR%)	$CBR = \frac{1}{(0.002871) * IPDC}$	Webster S.L. et al (1994)	Para suelos CH
Valor de soporte california (CBR%)	$CBR = \frac{1}{(0.017019IPDC)^2}$	Webster S.L. et al (1994)	Para suelos CL con CBR < 10%

Recuperado de investigaciones existentes.

2.2.2. SUBRASANTE

Definiremos como Subrasante la superficie del terreno de fundación sobre la cual se requiere construir el pavimento de una autopista, vía urbana, carretera o pista de aterrizaje. Para estudiar el suelo de fundación, que está por debajo de la Subrasante, se deberá tomar muestras hasta una profundidad tal que los esfuerzos que ejercen las cargas de los vehículos o aviones, reducidas a “cargas por eje” o “cargas por rueda”, sean mínimos (v.g. 0.10kg/cm²). Como se exhibe en la figura los perfiles del suelo de fundación ubicados por debajo de la subrasante de un proyecto de carretera. (Valle, 2009, p.23).



Figura 9. Representación del nivel de la subrasante en suelos de fundación.

2.2.2.1. FUNCIONES DE LA SUBRASANTE

La normativa recomienda que se deben de considerar como materiales idóneos para las capas que componen la subrasante, suelos con CBR \geq 6%, si en caso fueran menores que esta es llamada (subrasante pobre o inadecuada) se procede a estabilizar pudiendo aplicarse otras alternativas de solución como.

- ◆ Estabilización mecánica.
- ◆ Reemplazando el suelo de fundación.
- ◆ Estabilizando químicamente los suelos inapropiados.
- ◆ Estabilización con geosintéticos.
- ◆ Elevación de la rasante.
- ◆ Cambio del trazo vial.
- ◆ Se debe de elegir la alternativa más conveniente técnica y económicamente.

Si hay algo que debemos de tomar muy en cuenta es que la subrasante, tiene que ser un suelo de fundación con características muy buenas la cual pueda tener la capacidad de soportar la carpeta estructural del camino. Y también los esfuerzos que se generan sobre ella, en el proceso de operación o, dicho de otra forma, a la transpirabilidad de los vehículos livianos y pesados.

2.2.2.2. CARACTERIZACIÓN DE LA SUBRASANTE

Según el manual de carreteras, en su sección suelos y pavimentos 2014 “con el objeto de determinar las características físico – mecánicas de los suelos de interés de la subrasante se llevarán a cabo investigaciones mediante la ejecución de pozos exploratorios o calicatas de 1.50m de profundidad mínima.

La profundidad de 1.50m como mínimo tiene una explicación. Esta recomendación obedece a los esfuerzos que generan los vehículos durante su transición sobre la vía. Los neumáticos que tienen contacto con la superficie de rodadura, transmiten una carga que genera esfuerzo transmitido hasta un mínimo que logra ubicarse a profundidad de 1.50m, la cual también puede observarse mediante el bulbo de presiones teóricamente mostrados.

El número mínimo de calicatas por kilómetro, está dado de acuerdo al cuadro que se muestra. Y las calicatas se ubicarán en la longitud del tramo y en forma alternada, dentro

de la faja que resguarda el ancho de la calzada, en el caso del presente trabajo de investigación serán ubicados en el derecho de la vía de la carretera existente, lado izquierdo.

Tabla 3

Número mínimo de puntos de estudio con fines de proyectos viales.

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

Extraído de la sección de suelos y pavimentos del manual del Ministerio de Transportes y comunicaciones, 2014.

Además, el manual de carreteras, sección suelos y pavimentos indica que deben de extraerse muestras para ensayos de CBR (Capacidad de Soporte California), que depende del tipo de carretera. Para la presente investigación se toma el criterio que rige la normativa, tal como se exhibe en el siguiente cuadro.

Tabla 4
Número de ensayos Mr y CBR en obras viales

Tipo de Carretera	N° Mr y CBR
Autopistas: carretera de IMDA mayor de 6000veh/día, de calzadas separada, cada uno con dos o mas carriles.	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Calzada 2 carriles por sentido: 1 Mr cada 3 km x sentido y 1 CBR cada 1 km x sentido. ▶ Calzada 3 carriles por sentido: 1 Mr cada 3 km x sentido y 1 CBR cada 1 km x sentido. ▶ Calzada 4 carriles por sentido: 1 Mr cada 3 km x sentido y 1 CBR cada 1 km x sentido.
Carreteras Duales o Multicarril: carreteras de IMDA entre 6000 y 4001 veh/día, de calzadas separadas, cada uno con dos o mas carriles	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Calzada 2 carriles por sentido: 1 Mr cada 3 km x sentido y 1 CBR cada 1 km x sentido. ▶ Calzada 3 carriles por sentido: 1 Mr cada 3 km x sentido y 1 CBR cada 1 km x sentido. ▶ Calzada 4 carriles por sentido: 1 Mr cada 3 km x sentido y 1 CBR cada 1 km x sentido.
Carreteras de Primera Clases: carreteras con un IMDA entre 4000 y 2001 veh/día, de una calzada de dos carriles.	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Cada 1 km se realizará un CBR
Carreteras de Segunda Clase: carreteras con un IMDA entre 2000 y 401 veh/día, de una calzada de dos carriles.	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Cada 1.5 km se realizará un CBR
Carreteras de Tercera Clase: carreteras con un IMDA entre 400 y 201 veh/día, de una calzada de dos carriles.	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Cada 2 km se realizará un CBR
Carreteras de Bajo Volumen de Tránsito: carreteras con un IMDA =< 200 veh/día, de una calzada.	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Cada 3 km se realizará un CBR

Extraído de la sección de suelos y pavimentos del MTC, 2014.

2.2.3. CATEGORÍAS DE LA SUBRASANTE

El manual de carreteras, en su sección suelos y pavimentos presenta las categorías del terreno de la subrasante en función al grado de soporte que tiene cada uno, pero existe un valor que se conoce como CBR de diseño de la subrasante. Este parámetro se determina una vez definido el tipo de suelo según los métodos AASHTO y SUCS que debe estar concerniente al 95% de la DMS (densidad máxima seca) y a una penetración del pistón de carga de 2.54mm.

En tramos con seis o más valores de CBR realizados y que tengan características semejantes se determina el promedio de estas, y con valores de CBR menores a 6 puntos, entonces si los valores son similares, se promedia estos mismos, caso contrario se toma el valor más crítico o el menor valor y este sería el representativo. Para fines prácticos la norma presenta las siguientes categorías del valor de CBR que tomaremos también en la identificación del tipo de suelo a estudiar en la presente investigación.

Tabla 5

Categorías de la subrasante según el valor de CBR de diseño.

Categoría de la Subrasante	CBR
So: Subrasante Inadecuado	CBR<3%
S1: Subrasante Pobre	3% < CBR < 6%
S2: Subrasante Regular	6% < CBR < 10%
S3: Subrasante Buena	10% < CBR < 20%
S4: Subrasante Muy Buena	20% < CBR < 30%
S5: Subrasante Excelente	CBR>30%

Extraído de la sección de suelos y pavimentos del MTC, 2014.

2.2.4. EXPLORACIÓN DE SUELOS

“En muchas ocasiones a esta operación en el estudio de suelos, no se asigna mucha importancia, generalmente el estudio en donde se proyecta la construcción de una infraestructura, para su operación de obtener muestras, se deja en manos de personal poco experimentado”. (Valle, 1982, p.54)

La investigación de los suelos a nivel de la subrasante, consiste en el trabajo cuyo objetivo es obtener en forma directa o indirecta las particularidades de estos mismos suelos, la estratigrafía, las muestras que se necesitan para realizar los ensayos de laboratorio con el fin de clasificar los tipos de suelos existentes, comprobar sus características físico y mecánicas mediante ensayo de laboratorio, y para ello es necesario en el progreso del estudio en campo la presencia de un profesional y/o especialista con suficiente capacidad y conocimiento en dicho trabajo.



Figura 10. Perfil estratigráfico en exploraciones de suelos.

2.2.5. MÉTODOS DE EXPLORACIÓN EN SUELOS

(Anónimo) “son métodos que frecuentemente el especialista en suelos utiliza para extraer muestras representativas, en forma directa en el subsuelo donde se proyecta construir una obra civil. Las técnicas para saber las características de estratificación en los subsuelos son los siguientes”.

- ◆ Excavaciones a Cielo Abierto o Calicatas.
- ◆ Perforaciones barrenadas manualmente.
- ◆ Perforaciones con barreras mecánicas.
- ◆ Perforaciones por percusión con cables ligeros.
- ◆ Perforaciones “lavadas”.
- ◆ Pruebas de “lavado”.
- ◆ Pruebas de Penetración Dinámica de Cono (P.D.C).
- ◆ Pruebas de Penetración Estática de Cono.
- ◆ Pruebas de corte haciendo uso de veleta.
- ◆ Pruebas de presión.
- ◆ Pruebas de soporte de la losa.

Como se muestra, se puede efectuar diferentes tipos de exploraciones de suelos, con diferentes equipos, haciendo perforaciones, pruebas indirectas, etc. Pero para el caso específico de este trabajo de investigación será usual el método de Pozo de prueba o (excavaciones a cielo abierto) y prueba de penetración dinámica de cono (P.D.C) la cual se describe a continuación.

2.2.6. POZOS DE PRUEBA (CALICATAS)

(Anónimo) “La exploración de pozos de prueba conocido como (calicatas) es la técnica más económica de exploración superficial. Los pozos se pueden excavar manualmente utilizando mano de obra, pero las pequeñas excavadoras mecánicas, como la retroexcavadora si están disponibles son económicas y rápidas”. En caso de que sea necesario que el personal trabaje en el interior del pozo para obtener muestras de suelo,

por ejemplo, serán necesarios los entibados de los lados del pozo a una profundidad superior a 1.20m, por el riesgo de deslizamiento de las paredes del suelo.

(Anónimo) “Es necesario tomar en cuenta también la posible presencia de gases peligrosas, por lo que califica necesario la provisión de instrumentos de localización de gases. En suelos con soporte acuífero, especialmente las arenas, surgen dificultades para excavar debajo del manto acuífero”.

(Anónimo) “Las calicatas de prueba proporciona una visión clara de la estratigrafía de los suelos y de la presencia de piedras o bolsas de material más débil. Proporcionan la toma de muestras de suelo cortadas a mano, evitando su alteración”. Este tipo de exploración pueden ser excelentes para investigar la naturaleza del material existente, ya que los estratos sueltos de material se pueden reconocer enseguida. De hecho, las calicatas son el único medio confiable para obtener información relevante en terrenos con relleno o con depósitos naturales muy variados.

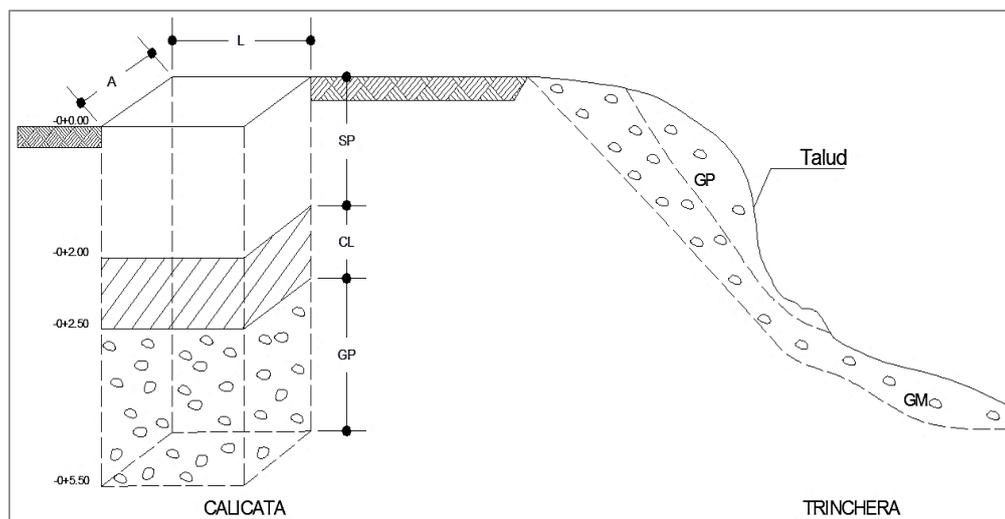


Figura 11. Vista transversal de la exploración de suelo mediante calicatas y trinchera.

2.2.6.1. VENTAJAS

(Anónimo) “Poder apreciar y visualizar directamente el interior de la calicata abierta por un profesional especialista en dicho trabajo, es la mejor parte del procedo de trabajo que se puede hacer”. Sin embargo, no siempre es posible esto en integridad de la naturaleza misma del terreno en la cual se realiza el estudio, esencialmente, por la presencia de suelos altamente inestables como rellenos sanitarios, arenas extremadamente sueltas, desmontes muy sueltos o el nivel freático muy superficial.

- ◆ Exploración muy directa del terreno visualizando el espesor de cada estrato.

- ◆ Reconocimiento in situ del terreno bajo fundamento de las normas ASTM.
- ◆ Extracción de muestras alteradas e inalteradas para ensayos de clasificación.
- ◆ Facilidad en la extracción cuando sea posible de muestras inalteradas para efectuar los ensayos de carácter especial en laboratorio.
- ◆ Ejecución de ensayos de densidad natural al interior de cada calicata por medio de ensayo de cono de arena, siguiendo la norma ASTM D155.
- ◆ Otros ensayos.

2.2.6.2. DESVENTAJAS

Las desventajas que pueden ostentar este método práctico según el tipo de terreno en donde se tiene interés por explorar son las siguientes:

- ◆ Según la topografía de la zona (en pendientes muy empinados).
- ◆ Nivel freático superficial o alto.
- ◆ Terreno extremadamente deslizante (inclusive se dificulta la incorporación de entibado).
- ◆ Existencia de rellenos sanitarios con presencia de gases tóxicos.

2.2.7. PRUEBAS DE PENETRACIÓN DINÁMICA DE CONO

La prueba de Penetración Dinámica de Cono (PDC), se realiza dejando caer un mazo de un peso determinado o específico desde cierta altura que constituye características tanto del SPT como del CPT, esta prueba está estandarizado por la norma ASMT D 6951-03. La profundidad de penetración por soplada hasta una profundidad necesaria se mide por que se asemeja a procedimientos SPT que mide el conteo de golpes que es registrado en campo usando una muestra de suelo in situ previamente preparado.

Las pruebas de penetración dinámica de cono, pueden proporcionar mediciones continuas de las capas de pavimento y principalmente de la subrasante subyacente, sin excavar el pavimento existente que se encuentra durante la prueba del CBR. Este instrumento constituye un eje recorrido fijo superior de 22.6 pulgadas (575mm) de largo con un peso de caída de 17.6 libras (8 kg) que ejerce una energía de aproximadamente 78.5 N y un eje inferior de 39.4 pulgadas (1000mm) que contiene un yunque un cono

reemplazable con un ángulo de vértice de 60° y 0.8 pulgadas (20mm) de diámetro. El yunque evita que el martillo caiga más allá de la altura de caída estándar, lo que garantiza una fuerza impulsora constante de cono hacia el suelo. Una varilla adicional o regla metálica que se usa como escala para medir la profundidad de penetración por un golpe. El eje tiene un diámetro mucho menor que el cono (16mm) para reducir la fricción de la piel o pared del suelo penetrado, tal cual se muestra en el esquema.

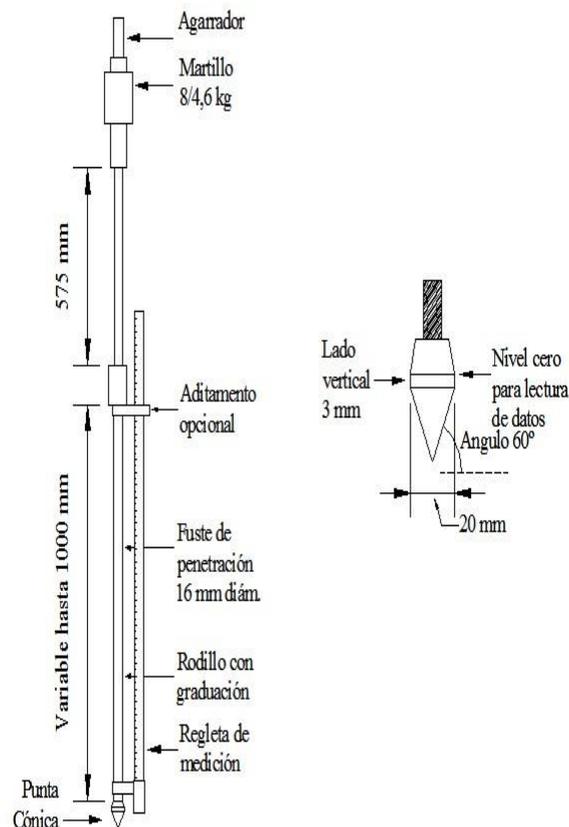


Figura 12. Características del penetrómetro Dinámico de Cono.

2.2.8. DESCRIPCIÓN DEL DISPOSITIVO DE PDC

El dispositivo que conocemos como el PDC (Penetrómetro dinámico de cono), tiene las siguientes características que deben estar en perfectas condiciones con el fin de evitar la obtención de resultados defectuosos.

- ◆ **Manija:** EL mango se ubica en la parte superior del dispositivo. Se usa para mantener el eje del equipo PDC a plomo y para limitar el movimiento hacia arriba del martillo.
- ◆ **Martillo:** El martillo de 17.6 libras (8 Kg). Se eleva manualmente con un sujetador que tiene esta, hasta la parte inferior del mango y luego se deja caer

(se deja caer libremente) para transferir energía a través del eje inferior a la punta del cono este martillo es guiado por el eje superior.

- ◆ **Eje Superior:** El eje superior es un eje de acero de diámetro (5/8 pulgadas) 16mm en el que se mueve el martillo, la longitud del eje superior permite que el martillo caiga una distancia de (22.6 pulgadas) 575mm.
- ◆ **Yunque:** El yunque sirve como mecanismo de detención para el martillo. También sirve como un conector entre el eje superior e inferior, esto permite el desmontaje, lo que reduce el tamaño del instrumento para el transporte.
- ◆ **Eje Inferior:** El eje inferior es un eje de acero de (5/8 pulgadas) 16mm de diámetro, con 900 – 1200 mm (35 – 47 pulgadas) de longitud en altura, marcado en la cara de la misma en incrementos de 5mm (0 – 2 pulgadas) para registrar la penetración después de cada caída de martillo, esto es opcional ya que existe la posibilidad de tener acoplado a esta una regla metálica en la misma escala.
- ◆ **Cono:** El cono de penetración mide 20mm (0.787 pulgadas) de diámetro, las dimensiones del cono se muestran en la figura 3, el cono tiene una inclinación de 60° y esto se está convirtiendo en el estándar para los PDC, aunque se puede usar un cono de 30° cuando se mida el índice de penetración en suelos más rígidos. Esto tiene significancia en el sentido de que, a mayor rigidez del suelo, un ángulo de inclinación menor del cono, mayor efectividad en la penetración.
- ◆ **Área base del cono:** El área de la base del cono se encuentra en el mismo cono y es determinado en función al diámetro de la misma. Esta área mide aproximadamente $3.1416 \times 10^{-4} \text{m}^2$.
- ◆ **Energía por golpe por área de cono:** La energía que se transmite por golpe por área del cono es aproximadamente 144 (kN-m/m²).

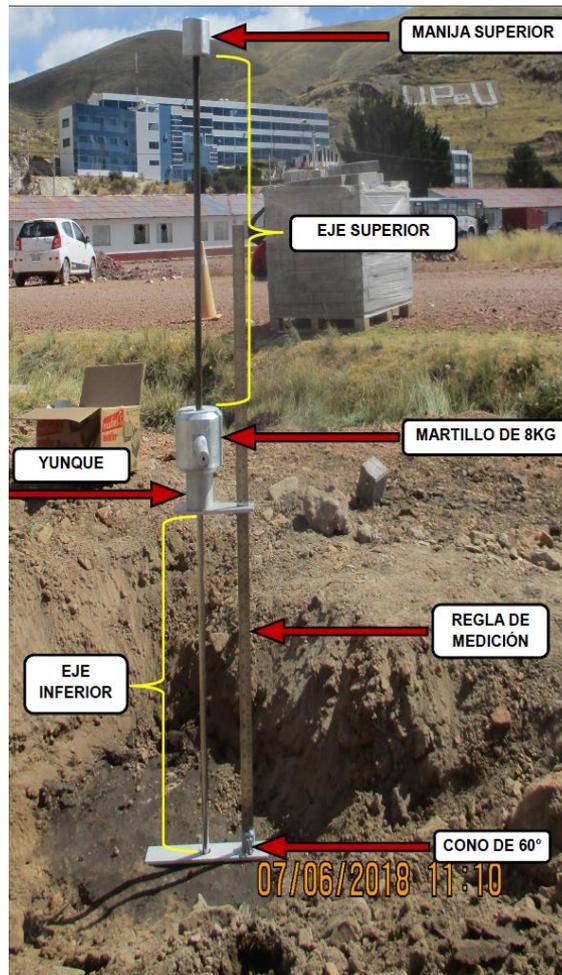


Figura 13. Equipo Penetrómetro Dinámico de Cono aplicado en campo.

2.2.9. CURVA Y DIAGRAMA DE PDC

La curva PDC (Penetración Dinámica de Cono) es una representación gráfica del progreso de incamamiento del cono de 20mm de diámetro que se genera en las capas estructurales del suelo, siendo esto hasta una profundidad máxima de 1.00m dependiendo mucho del tamaño del eje inferior del equipo, como se muestra en la figura. Para su representación se colocan en el eje de las ordenadas la profundidad de penetración y en las abscisas los golpes acumulados, y se explica de la siguiente forma, se hizo una exploración o penetración de 82.50cm de profundidad en aproximadamente 35 golpes.

La variación de la dirección de la curva representa la variación de los estratos de los suelos (E-01, E-02, E-03), pueden ser ligeros o más resistentes que la anterior capa, y la identificación de estas, se realiza sobre la gráfica como se muestra.

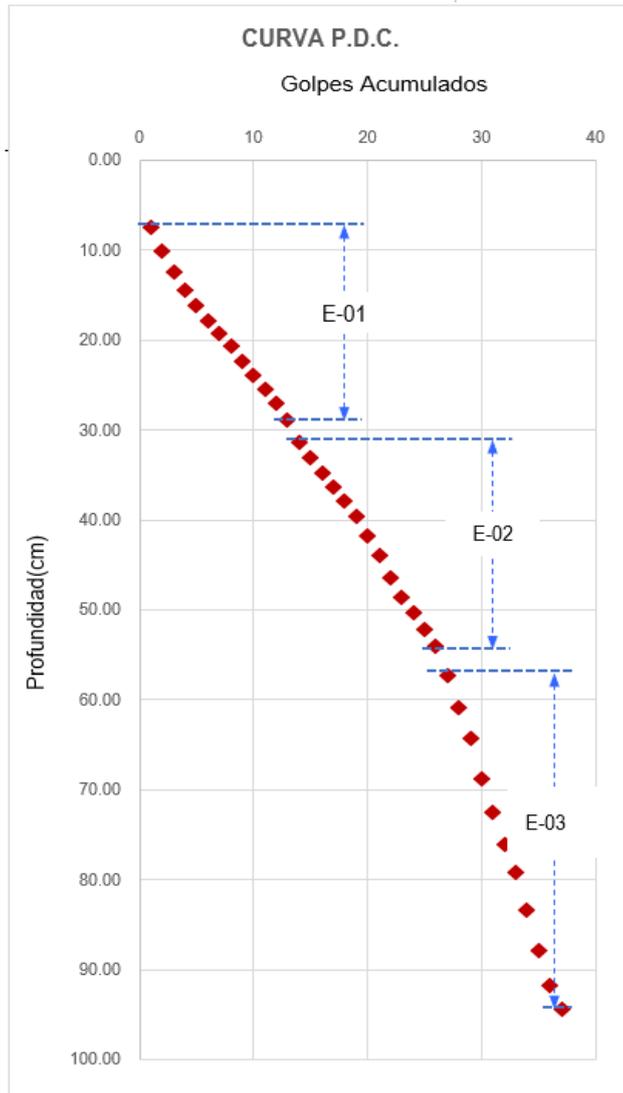


Figura 14. Representación de la curva de Penetración Dinámica de Cono

2.2.10. ÍNDICE DE PENETRACIÓN DINÁMICA DE CONO

El índice de Penetración Dinámica de Cono IPDC (mm/golpe) es un valor que se determina en gabinete con los datos recolectados en campo. Esto surge del registro de penetración que ejerce el cono, por cada caída de 8kg de masa. (Embacher, 2005)

$$IPDC = \frac{P(i+1) - P(i)}{B(i+1) - B(i)} \quad (11)$$

Donde:

IPDC : Índice de Penetración dinámica de cono (mm/golpe).

P : Penetración en (i+1) de caída del martillo (mm).

B : conteo de golpes para (i+1) de caída del martillo.

Existen dos formas de terminar el índice de Penetración Dinámica de Cono. (Edil and Benson, 2005)

Promedio Aritmético

$$IPDC = \frac{\sum_i N(IPDC)}{N} \quad (12)$$

Donde:

N: Número total de Ipdc registrado para una profundidad dada.

Promedio Ponderado:

$$IPDC = \frac{1}{H} * \sum_i N * (IPDCi * Zi) \quad (13)$$

Donde:

Z: Profundidad de penetración por golpe

H: Profundidad total de penetración.

2.2.11. MUESTREO DE SUELOS

El muestreo de suelo es la actividad que se realiza una vez culminada la exploración del suelo, con el fin de extraer muestras representativas para su respectivo ensayo en laboratorio, del cual será fuente de determinación de los resultados que se busca hallar en cada una de ellas tanto físicas como mecánicas. En este proceso que parece simple, se debe de tomar en cuenta que tipo de muestra es el que se extrae, podrían ser alteradas o inalteradas, además paralelo a esta actividad es necesario que el operador o quien extrae la muestra puede clasificar visualmente los estratos existentes y registrarlos en el cuaderno o esquema que se utiliza en el campo, esto servirá como guía para clasificar los suelos mediante ensayos convencionales.

Una vez culminada la extracción de las muestras se traslada al laboratorio con bastante cuidado, tratando en lo mínimo no dañarlos o alterarlos ya que ello nos permite a obtener resultados defectuosos que causas consecuencias más adelante, entre las muestras que se extraen en campo se tiene:

2.2.11.1. MUESTRAS ALTERADAS

Las muestras alteradas son una proporción del suelo que se considera necesaria y representativa para su análisis, pero esto se lleva al laboratorio sin mantener sus propiedades físicas y mecánicas. Puede ser muestra para pruebas de granulometría, límites de consistencia, CBR, etc. En síntesis, no se conserva su estructura y la humedad.



Figura 15. Extracción de muestras alteradas in situ.

2.2.11.2. MUESTRAS INALTERADAS

Las muestras inalteradas son una porción de suelo que se considera necesaria y representativa para su ensayo y análisis, pero esto se lleva al laboratorio sin alterar sus propiedades físicas ni mecánicas, normalmente se extrae tallados o remoldeado en campo, cuidando principalmente de la pérdida de humedad que puede tener, para evitar ello, hasta se puede colocar parafina en las caras de esta muestra o bien cubiertos con bolsas de plástico y cinta flexible. En resumen, se conserva su estructura y la humedad.



Figura 16. Extracción de muestras inalteradas, haciendo uso de moldes CBR

2.2.12. CAPACIDAD DE SOPORTE CALIFORNIA (C.B.R)

2.2.12.1. ORIGEN

Según Valle (1982) el ensayo de Capacidad de Soporte California (C.B.R) fue propuesto en el año 1929 por los Ingenieros T.E Stanton y O.J. Por el departamento de carreteras de California. A partir de esa fecha, en Europa y en América se ha extendido y es una forma de caracterización del suelo de fundación la cual se quiere hacer uso como una Subrasante o material de base o sub base en la construcción de caminos, así como también en la ejecución de terraplenes y capas de rodadura granulares. Durante el periodo de la segunda guerra mundial, los cuerpos de Ingenieros de los Estados Unidos adoptaron este ensayo y metodología para hacer uso técnico en la construcción de Puertos y Aeropuertos.



Figura 17. Equipamiento para el ensayo de Capacidad de Soporte California

2.2.12.2. DEFINICIÓN

(Anónimo) “El CBR del suelo es la carga unitaria correspondiente a 0.1” y 0.2” de penetración, expresada en porciento como valor estándar. También que mide la potencial de resistencia al corte de un suelo bajo condiciones de densidad y humedad cuidadosamente controlada”. El ensayo permite obtener un número de la relación de soporte, que no es constante para un suelo dado sino, que se aplica solo al estado en el cual es hallada el suelo durante el ensayo.

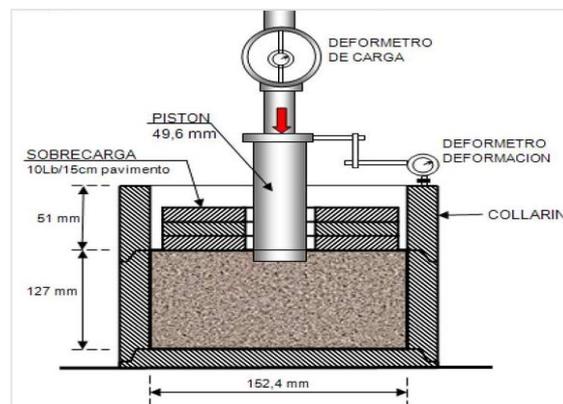


Figura 18. Aplicación de la carga de penetración en el ensayo de CBR

2.2.12.3. GENERALIDADES

(Anónimo) “El valor de C.B.R se expresa en porcentaje como la razón de carga unitaria que se requiera para introducir un pistón dentro de una muestra compactada de suelo a un contenido de humedad y densidad dada”. Con respecto a la carga unitaria patrón requerido para introducir el mismo pistón a la misma profundidad en una muestra tipo material triturado, siendo la ecuación como se muestra.

$$C.B.R = \left[\frac{CARGA_UNITARIA_DEL_ENSAYO}{CARGA_UNITARIA_PATRÓN} \right] * 100 \quad (14)$$

De la fórmula 14 se puede deducir que el valor de C.B.R. es un grado o porcentaje de la carga unitaria patrón. En la práctica, el símbolo de porcentaje se destituye y la relación se expresa simplemente por un número entero.

Según Valle (1982) Los valores de carga unitaria para las diferentes profundidades de penetración dentro de la muestra patrón ya están definitivos. El C.B.R. que se usa para proyectar, es el valor que se consigue para una penetración de 0.1” o de 0.2”, tomándose como el resultado al menor de los valores. En la mayoría de los suelos el valor para la penetración de 0.1” tiene como resultado menor. Y esta sería por el cual optaríamos”

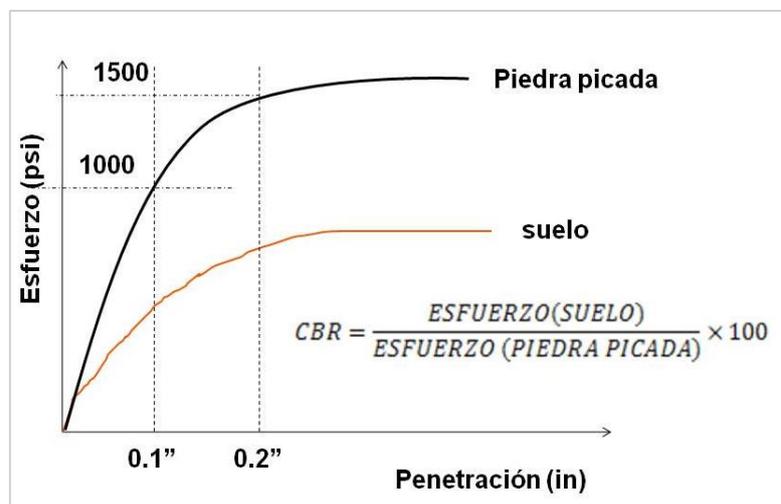


Figura 19. Diagrama de esfuerzo VS deformación, extraído de Ramcodes, 2014

Este ensayo de C.B.R. se utiliza para establecer una correspondencia entre el comportamiento de los suelos, principalmente en la construcción y mejoramiento de obras viales, en las cuales se utiliza materiales como bases, sub bases y Subrasante. Incluido la carpeta asfáltica, toda una estructura de soporte para el tránsito de vehículos.

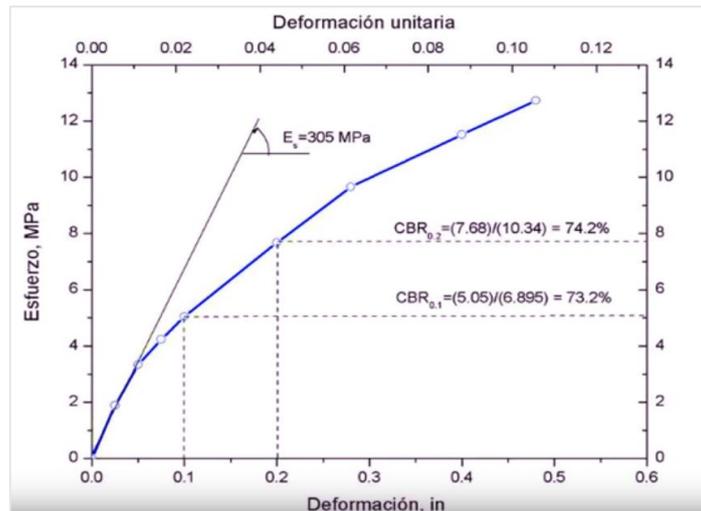


Figura 20. Ejemplo de determinación del valor de CBR para 0.1" y 0.2" de penetración, recuperado de Das, 2011

Una vez determinado la curva esfuerzo deformación de los resultados obtenidos, se tiene que evaluar la homogeneidad de estas las curvas que se muestran en la figura 21. Quiere decir, si la curva esfuerzo deformación es homogéneo y similar no requiere de una corrección, caso contrario se tiene la necesidad de corregir la tendencia de la curva desde el origen.

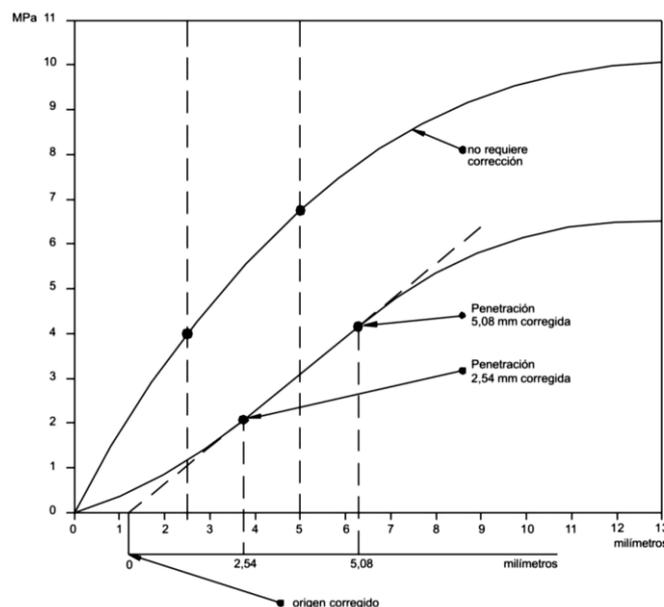


Figura 21. Corrección de curvas tensión vs Penetración, recuperado de MOPC, 2011

2.2.13. LÍMITES DEL PROFESOR ATTERBERG

“Cuando un suelo arcilloso se asociada con una cantidad excesiva de agua, puede llegar a fluir como un semilíquido. Si el suelo es secado gradualmente, tendrá un comportamiento

como un material plástico, semisólido o sólido” (Das, 2011, p.15). La cantidad de agua, en el que el suelo cambia de un estado líquido o uno plástico se conoce como Límite líquido (LL). De manera similar, la cantidad de agua, en el que el suelo cambia de un estado plástico a semisólido y de un estado semisólido a uno sólido se conoce como Límite plástico (LP) y Límite de contracción (LC). A estos valores en la propiedad del suelo se les conoce como límites de Atterberg.

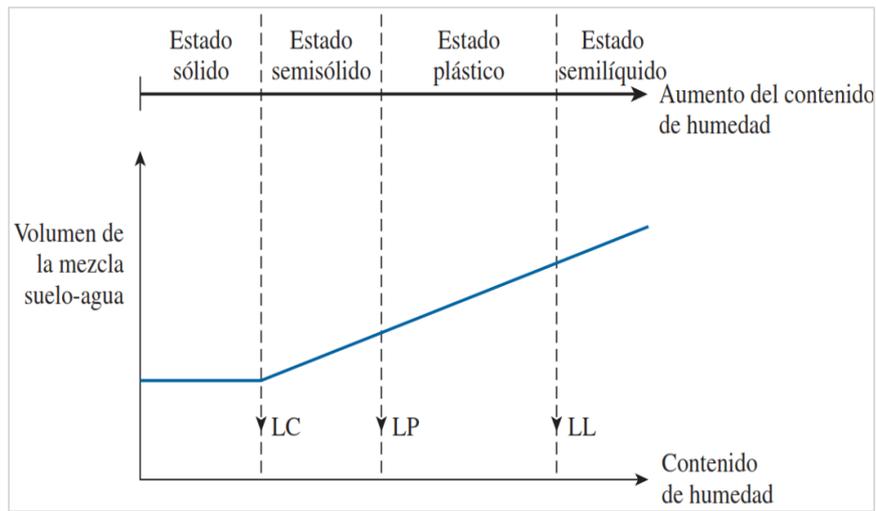


Figura 22. Los estados del límite de consistencia en un suelo. Recuperado de Das, 2011.

2.2.13.1. LÍMITE LÍQUIDO

Según Das (2011) el Límite líquido del suelo se determina haciendo uso de la copa de Casagrande (según prueba D-4318 de la Normativa ASTM), a esta propiedad podemos definir como el grado de humedad que tiene el suelo, y efectuando la prueba en laboratorio, en el que se cierra una ranura de 12.7mm mediante 25 golpes.

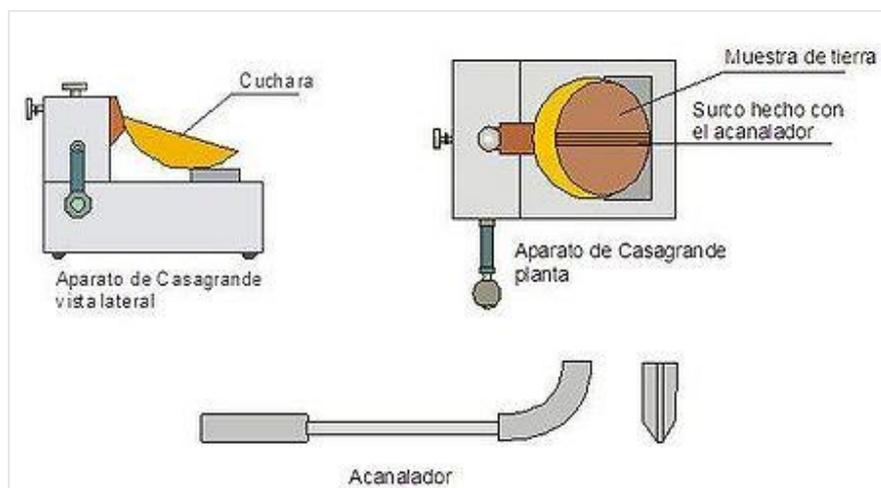


Figura 23. Copa del profesor Casagrande en forma esquemática, recuperado de Das, 2011.

2.2.13.2. LÍMITE PLÁSTICO

El Límite plástico se define como el grado de humedad en el que el suelo presenta agrietamiento al formar un rollito de 3.18mm de diámetro (Denominación de prueba D-4318 de la norma ASTM).

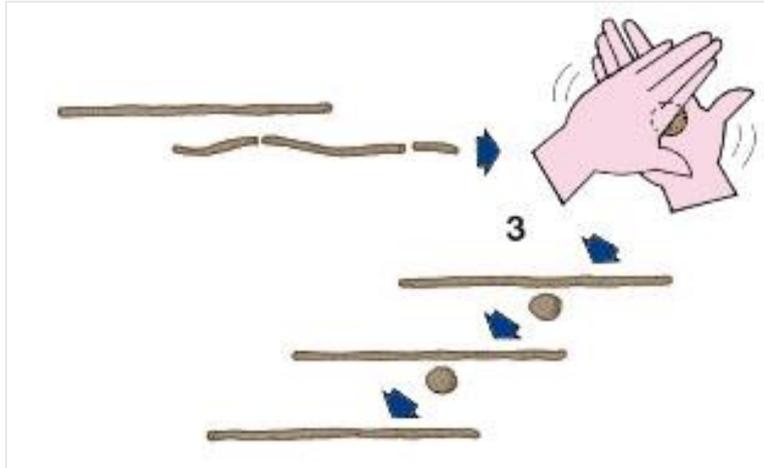


Figura 24. Determinación del límite plástico en los suelos.

2.2.13.3. LÍMITES DE CONTRACCIÓN

Se define como el grado de humedad en donde el suelo estudiado no advierte ningún cambio adicional en su volumen con la pérdida o reducción de humedad (denominación de prueba D-4277 de la Norma ASTM).

2.2.13.4. ÍNDICE DE PLASTICIDAD

Para la determinación del índice de plasticidad simplemente se opera la diferencia entre el valor del límite líquido y el límite plástico, expresando en unidades de porcentaje (%), y será un valor de grado de humedad que tiene el suelo, tal como muestra la fórmula.

$$IP = LL - LP \quad (15)$$

Donde:

IP: Índice de plasticidad del suelo ensayado.

LL: Límite líquido del suelo.

LP: Límite plástico del suelo.

2.2.14. GRANULOMETRÍA DEL SUELO

(Anónimo), "El análisis granulométrico de un suelo, radica en determinar los diferentes tamaños de las partículas expresado en porcentajes en que esos tamaños intervienen en

su universo que lo conciertan. Es un índice para determinar algunas propiedades de los diferentes suelos de interés y para resultar a su clasificación”.

El ensayo granulométrico por tamizado es practicado hasta las partículas de suelo retenidas en el tamiz N°200 (0.074mm), consiste en hacer pasar el suelo a través de un esparcimiento de tamices de aberturas conocidas, entonces quiere decir que el tamaño o diámetro de las partículas está determinado por la extensión lateral o lado de la abertura cuadrada del tamiz.



Figura 25. Distribución granulométrica de suelos por tamizado.
Recuperado de Mecánica de suelos, Uriel Ortoño.

Se puede definir también los tipos de suelos.

- ◆ Granulares o Gruesos: Gravas y Arenas (Visibles a simple vista), mediante tamices.
- ◆ Finos: Limos y Arcillas (No visibles), mediante sedimentación.

Sino también según el tamaño de partículas

- ◆ (G) : Gravas : 63mm > Ø > 2mm
- ◆ (S) : Arenas : 2mm > Ø > 0.063mm
- ◆ (M) : Limos : 0.063mm > Ø > 0.002mm
- ◆ (C) : Arcillas : < 0.002mm

Existen disímiles tipos de tamices, con diferentes graduaciones, entre los más usuales podemos describir como sigue:

Tabla 6*Distribución granulométrica de suelos por el tamaño de partículas.*

N° Tamiz	Abertura de los Orificios (mm)
3"	76.1
2"	50.8
1 1/2"	38.1
1"	25.4
3/4"	19.1
1/2"	12.5
3/8"	9.15
N°4	4.76
N°10	2
N°20	0.84
N°30	0.58
N°40	0.42
N°80	0.25
N°100	0.149
N°200	0.074

Otra de la forma mediante la cual podemos identificar la granulometría del suelo es según las fracciones de suelo, entre ellos los suelos muy gruesos, gruesos y finos.

Para el caso de la investigación tomaremos en cuenta los suelos de interés como las arenas y arcillas. Según la clasificación que muestran cada grupo de suelo.

Tabla 7*Distribución de fracción de suelos y tamaño de partículas*

Fracciones de Suelos	Subdivisiones	Tamaño de Partículas (mm)
Suelos muy gruesos	Piedras grandes	>630
	Piedras	630 - 200
	Guijarros	200 - 63
Suelos gruesos	Grava	63 - 2.0
	Grava grues	63 - 20
	Grava media	20 - 6.3
	Grava fina	6.3 - 2.0
	Arena	2.0 - 0.063
	Arena gruesa	2.0 - 0.63
	Arena media	0.63 - 0.20
	Arena fina	0.20 - 0.063
	Suelos finos	Limos
Limos gruesos		0.063 - 0.020
Limos medios		0.020 - 0.0063
Limos finos		0.0063 - 0.002
Arcillas		<0.002

Según ISO 14688 -1

2.2.15. CONTENIDO DE HUMEDAD

(Anónimo) “El contenido de humedad de un suelo, es la cantidad de agua que existe en una porción de masa de suelo, y esta se comprueba mediante ensayo de laboratorio, expresada en unidades de porcentaje de peso”. También podemos definir como la relación entre la cantidad de agua que ocupa los poros del suelo (agua libre), y la masa de la cantidad de partículas sólidas del mismo suelo.

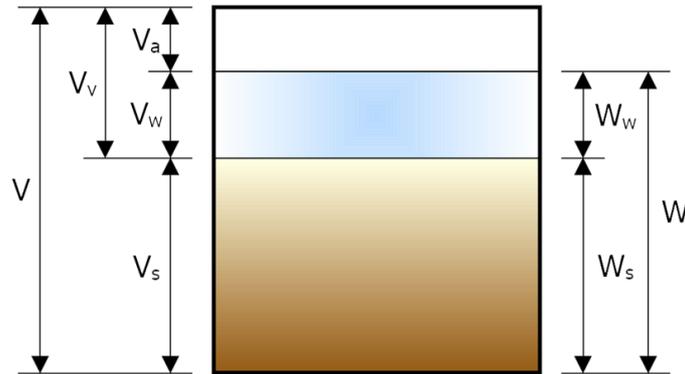


Figura 26. Representación volumétrica del W en una masa de suelo.

En el cuadro se muestra la forma de conocer a los suelos según las condiciones en el cual se encuentran.

Tabla 8

Condiciones del suelo según el grado de humedad

GRADO DE HUMEDAD DEL SUELO			
Clasificación	Grado de Saturación (%)		
Seca		0	
Ligeramente Húmeda	1	a	25
Húmeda	25	a	50
Muy húmeda	50	a	75
Mojada	75	a	99
Totalmente saturada		100	

Fuente: Conceptos generales de la mecánica de suelo. Pérez, 2012

2.2.16. DENSIDAD DEL SUELO

Según Dulcey (2015) La densidad natural o peso unitario es el peso del suelo por unidad de volumen, incluye toda la masa del suelo, las partículas sólidas y todos los huecos con o sin humedad. La densificación del suelo se debe al reacomodo, reajuste y empaquetamiento de las partículas del suelo dentro de su matriz. Como todas las estructuras diseñadas deben apoyarse en el suelo con algún tipo de cimentación diseñada,

el éxito o el fracaso de la cimentación depende única y completamente del rendimiento de transferencia exitosa de la carga al suelo sin un asentamiento excesivo ni una falla de corte.

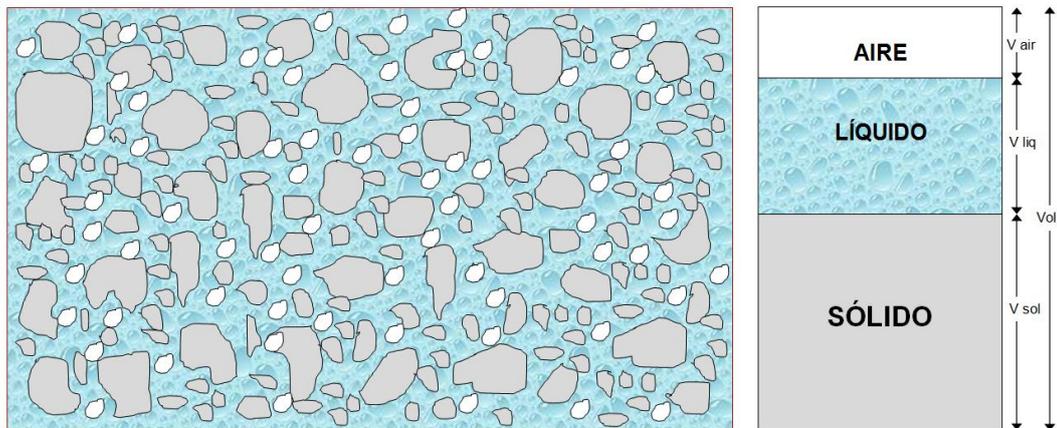


Figura 27. Composición estructural del suelo, incluye volumen de los sólidos, líquido y sólido.

En los suelos se pueden considerar dos tipos de densidades como es la densidad aparente o natural y la densidad real.

Densidad Natural o aparente: Es la cantidad o masa de suelo que contiene una unidad de volumen tal y como es; incluyendo a esta el volumen o espacio ocupado por los poros y líquido. Para determinar esta propiedad se divide al peso del suelo en su estado natural o ambiental entre el volumen de la misma.

(Anónimo) “Además, según estudios se sabe que la densidad natural o aparente varía según la textura, estructura, su contenido de materia orgánica y el grado de compactación”. Entonces los suelos más sueltos y con porosidad tendrán una densidad natural menor ya que poseen mayor volumen que los suelos compactos, donde las partículas están más juntas en contacto y tienen menor espacio vacío y en consecuencia una densidad natural mayor.

La densidad de los suelos también suele variar en función del contacto o mezcla que tienen con la materia orgánica. Entre ellos los suelos que se encuentran en la superficie del suelo. También según la profundidad en el cual se encuentran, a mayor profundidad, la densidad es mayor esto debido al peso de los estratos superiores que hacen que sea más compacto.

Densidad Real: Es la densidad únicamente de las partículas sólidas que contiene el suelo. En este caso su determinación consiste en dividir el peso del suelo sin incluir los poros y el agua con respecto al volumen que ocupa los sólidos. Esta propiedad se utiliza

en materiales de préstamo que serán colocados bajo condiciones de humedad y densidad controlada ya que de ellos depende el desempeño de la estructura del pavimento.

2.2.17. MEDIDA DE LA RESISTENCIA DE LOS SUELOS DE SUBRASANTE

Según Sanchez (1984) los ensayos de resistencia son de dos clases “in situ” y de laboratorio, en la primera se trabaja con las condiciones ambientales reales a que el suelo se encuentra sometido, mientras que en los segundos se trabaja generalmente con muestras alteradas y empleando ciertos artificios con los cuales se tratan de representar en el laboratorio, las condiciones a que probablemente se encontrará sometido el suelo cuando esté trabajando como subrasante.

2.2.17.1. INFLUENCIA DE LA HUMEDAD Y DENSIDAD EN LA RESISTENCIA DEL SUELO

Según Sanchez (1984) la resistencia del suelo depende también del nivel de compactación que se le aplica. Es preciso escoger para la determinación de la resistencia en el laboratorio, una densidad tal que al compactar con ella el suelo en el campo, se garanticen los menores cambios de volumen de la subrasante. Aunque algunos autores recomiendan emplear altos niveles de densidad como medio de lograr elevadas resistencias iniciales, la experiencia ha demostrado que esto no es siempre la mejor solución, por cuanto, en el caso de suelos finos, estos pueden succionar agua determinando presiones de hinchamiento y una caída de la densidad seca obtenida durante la construcción, con la consecuente pérdida de resistencia.

Según Sanchez (1984) la densidad más conveniente para compactar el suelo en el campo y por consiguiente la recomendable para evaluar la resistencia en el laboratorio, será la llamada densidad de equilibrio, que es la que normalmente alcanzará el suelo durante su trabajo como subrasante a lo largo del tiempo, al soportar los agentes de tránsito y del medio ambiente.

2.2.17.2. DENSIDAD NATURAL MEDIANTE EL MÉTODO DE CORTE DE NÚCLEO

Este método es comparativamente preciso. En este método, un cortador de núcleo (cilindro con filo de corte) se empuja hacia el suelo con golpes de apisonamiento. Luego, el cortador se extrae del suelo, se recorta cualquier suelo que sobresalga de sus extremos para que el volumen del suelo que contiene sea igual a su propio volumen. El peso del suelo que llena completamente el cortador de núcleo se determina mediante pesaje directo y el contenido de humedad del suelo se determina mediante la prueba de contenido de

humedad. Luego se calcula la densidad húmeda y la densidad seca del suelo. Este método es adecuado para suelos con cohesión y libre de gravas, cantos rodados y adoquines.

$$\text{Volumen del cilindro} = \frac{\pi D^2}{4} xH \quad (16)$$

Donde:

D: diámetro del molde cilíndrico

H: Altura del molde cilíndrico

$$\text{Densidad } (\gamma) = \frac{M_s}{V_s} \text{ (gr / cm}^3\text{)} \quad (17)$$

Donde:

Ms: Masa del suelo que ingresa en el molde cilíndrico en (gr)

Vs: Volumen propio del suelo determinado mediante el molde cilíndrico en (cm³)

La relación de la masa con respecto al volumen es conocido como la masa unitaria o densidad natural del suelo. En ello se incluye las características naturales o ambientales que se hará uso en el presente trabajo de investigación.

2.2.18. COMPACTACIÓN DE SUELOS MEDIANTE EL MÉTODO PROCTOR

(Anónimo) “el propósito de un ensayo de compactación en laboratorio es generar la curva de compactación para una determinada energía de compactación. Esta curva considera en las abscisas el grado de humedad y en ordenadas la densidad seca”. A partir de esta gráfica, se podrá obtener la humedad conocida óptima que es la que corresponde a una densidad máxima. Con estos resultados será posible determinar la cantidad de agua de amasado a usar cuando se compacta el suelo en campo, siendo el objetivo colocar en la máxima densidad seca para una determinada energía de compactación. Para cumplir este propósito, un ensayo de laboratorio debe considerar un tipo de compactación similar a la que se pueda desarrollar en terreno con los equipos de compactación.

2.2.18.1. DEFINICIÓN

(Anónimo) en 1993, R.R. Proctor concretó el ensayo distinguido como Proctor estándar, el cual radica en tomar una muestra de 3kg de suelo, pasar por el tamiz N°4, agregándole agua cuando sea necesario, y compactar este suelo bien mezclado en un molde de 994cm³

en tres capas con 25 golpes por cada capa de un martillo de compactación de 24.5N, siendo la altura de caída de 0.305m. esto proporciona una energía de compactación de 593.7Kg/m³.

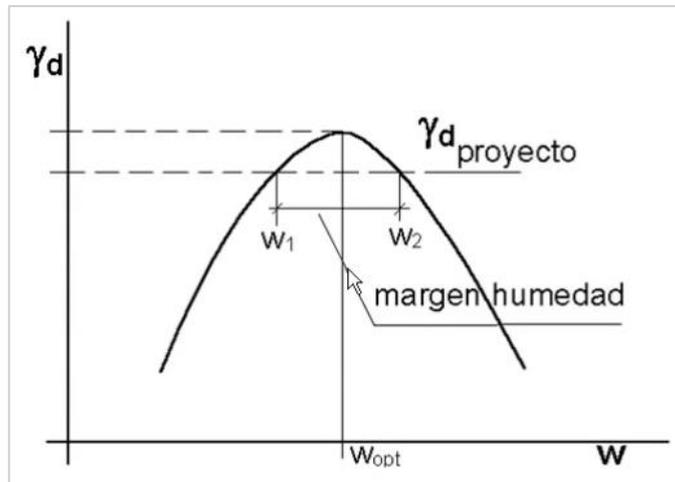


Figura 28. Parámetros de la curva de compactación en suelos. Recuperado de Universidad Politécnica de Valencia, 2012.

2.2.19. SISTEMA DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

Los sistemas de clasificación de suelos parten los suelos en grupos y subgrupos con base en propiedades ingenieriles comunes como la distribución granulométrica, el límite líquido y el límite plástico. Los dos sistemas de clasificación principales de uso actual son 1) el sistema de la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) y 2) el sistema unificado de clasificación de suelos, también es el sistema de la ASTM). El sistema de la AASHTO se emplea principalmente para la clasificación de la composición del material que serán colocadas en las capas del pavimento de una carretera. No siendo práctico o hecho uso en el estudio de mecánica de suelos con fines de cimentaciones. (Das, 2011, p.17)

2.2.19.1. MÉTODO AASHTO

El Sistema de clasificación de suelos de la AASHTO fue formulado originalmente para el Comité de Clasificación de Materiales para Subbases y Carreteras de Tipo Granular de la Junta de Investigación de Carreteras (1945). De acuerdo con la forma presente de este sistema, los suelos se pueden clasificar según ocho grupos principales, A-1 a A-8, con base en su distribución granulométrica, límite líquido e índice de plasticidad. Los suelos listados en los grupos A-1, A-2 y A-3 son materiales de grano grueso, y aquellos en los grupos A-4, A-5, A-6 y A-7 son materiales de grano fino. La turba, el fango y otros suelos

altamente orgánicos se clasifican en el grupo A-8 y se identifican mediante una inspección visual. (Das, 2011, p.18)

Tabla 9
Sistema de clasificación AASHTO

Clasificación General	Materiales granulares (35% o menos del total pasa el tamiz N° 200)						Materiales limo – arcillosos (más del 35% del total pasa el tamiz N°200)				
	A –1	A-3	A – 2				A –4	A- 5	A –6	A -7	
Clasificación de 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
Porcentaje de material que pasa el tamiz											
N° 10	50 max										
N° 40	30 max	50max	51 min								
N° 200	15 max	25 max	10 max	35 max	35 max	35 max	35 max	36 min	36 min	36 min	36 min
Características de la fracción que pasa el tamiz N° 40											
L Líquido LL				40 max	41 min	40 max	41 min	40 max	41 min	40 max	41 min
I Plasticidad IP	6 max		NP	10 max	10 max	11 min	11 min	10 max	10 max	11 min	11 min
Tipo usual de material significativo constituyente	Fragmento de piedra Arena gruesa		Fineza	Grava y arena arcillosa color plata				Suelo color plata		Suelo arcilloso	
				Bueno, excelente				Pobre, justo			

Recuperado de laboratorio de mecánica de suelos UNI, 2015

- ◆ Si $IP \leq LL - 30$, la clasificación es (A-7-5)
- ◆ Si $IP > LL - 30$, la clasificación es (A-7-6)

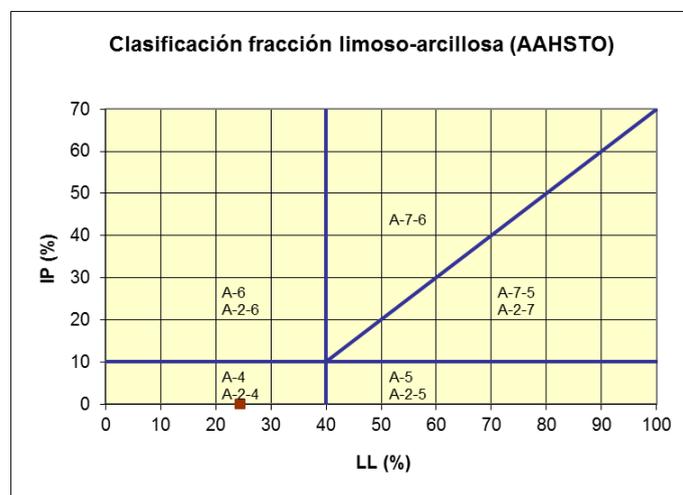


Figura 29. Carta de plasticidad para el método AASHTO.

2.2.19.2. MÉTODO SUCS

El Sistema unificado de clasificación de suelos (Unified Soil Classification System) ha sido propuesto originalmente por A. Casagrande en 1942 y más tarde revisado y adoptado por el United States Bureau of Reclamation y el US Army Corps of Engineers. Hoy en día el sistema se utiliza prácticamente en todo el trabajo geotécnico. (Das, 2011, p.19)

Tabla 10
Sistema de clasificación Según SUCS

DIVISIONES PRINCIPALES		Símbolos del grupo	NOMBRES TÍPICOS	IDENTIFICACIÓN DE LABORATORIO	
SUELOS DE GRANO GRUESO Más de la mitad del material retenido en el tamiz número 200	GRAVAS Más de la mitad de la fracción gruesa es retenida por el tamiz número 4 (4,76 mm)	Gravas limpias (sin o con pocos finos)	GW Gravas, bien graduadas, mezclas grava-arena, pocos finos o sin finos.	Determinar porcentaje de grava y arena en la curva granulométrica. Según el porcentaje de finos (fracción inferior al tamiz número 200). Los suelos de grano grueso se clasifican como sigue: <5%->GW,GP,SW,SP. >12%->GM,GC,SM,SC. 5 al 12%->casos límite que requieren usar doble símbolo.	
		Gravas mal graduadas , mezclas grava-arena, pocos finos o sin finos.	GP		
		Gravas con finos (apreciable cantidad de finos)	GM Gravas limosas, mezclas grava-arena-limo.		
		Gravas arcillosas , mezclas grava-arena-arcilla.	GC		
	ARENAS Más de la mitad de la fracción gruesa pasa por el tamiz número 4 (4,76 mm)	Arenas limpias (pocos o sin finos)	SW Arenas bien graduadas, arenas con grava, pocos finos o sin finos.		Cu= D ₆₀ /D ₁₀ >4 Cc=(D ₃₀) ² /D ₁₀ xD ₆₀ entre 1 y 3 No cumplen con las especificaciones de granulometría para GW. Límites de Atterberg debajo de la línea A o IP<4. Encima de línea A con IP entre 4 y 7 son casos límite que requieren doble símbolo. Cu= D ₆₀ /D ₁₀ >6 Cc=(D ₃₀) ² /D ₁₀ xD ₆₀ entre 1 y 3 Cuando no se cumplen simultáneamente las condiciones para SW. Límites de Atterberg debajo de la línea A o IP<4. Los límites situados en la zona rayada con IP entre 4 y 7 son casos intermedios que precisan de símbolo doble. Límites de Atterberg sobre la línea A con IP>7.
		Arenas mal graduadas , arenas con grava, pocos finos o sin finos.	SP		
		Arenas limosas , mezclas de arena y limo.	SM		
		Arenas arcillosas , mezclas arena-arcilla.	SC		
SUELOS DE GRANO FINO Más de la mitad del material pasa por el tamiz número 200	Limos y arcillas: Límite líquido menor de 50	ML Limos inorgánicos y arenas muy finas, limos limpios, arenas finas, limosas o arcillosa, o limos arcillosos con ligera plasticidad.	Turba y otros suelos de alto contenido orgánico.		
		CL Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas.			
		OL Limos orgánicos y arcillas orgánicas limosas de baja plasticidad.			
	Limos y arcillas: Límite líquido mayor de 50	MH Limos inorgánicos, suelos arenosos finos o limosos con mica o diatomeas, limos elásticos.			
		CH Arcillas inorgánicas de plasticidad alta.			
		OH Arcillas orgánicas de plasticidad media a elevada; limos orgánicos.			
Suelos muy orgánicos		PT			

Recuperado de laboratorio de mecánica de suelos UNI, 2015.

En seguida se muestra la carta de plasticidad que se hace uso para la clasificación mediante el sistema SUCS.

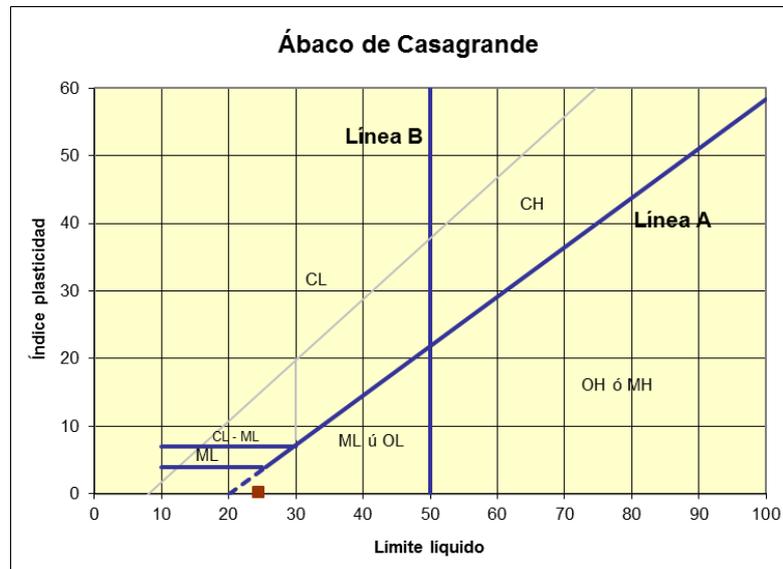


Figura 30. Carta de plasticidad para el método SUCS.

Según Das (2011) para la valoración cualitativa de la conveniencia de un suelo como material de capa subrasante de una infraestructura vial, también se puso en desarrollo un número al que se le conoce como índice de grupo (IG). Mientras mayor sea el valor del IG para un suelo dado, menos eficiente será el desempeño del suelo como capa subrasante. Un índice de grupo de 20 o mayor indica un material muy deficiente para utilizarlo como capa subrasante, y esta se determina mediante la fórmula siguiente.

$$IG = (F_{200} - 35) \left[0.2 + 0.005(LL - 40) \right] + 0.01(F_{200} - 15)(IP - 10) \quad (18)$$

Donde:

- ◆ F_{200} : porcentaje que pasa el tamiz N°200, expresado como un número entero.
- ◆ LL: límite líquido del suelo
- ◆ LP: límite plástico del suelo

Según Das (2011) al computar el índice de grupo para un suelo que pertenece al grupo A-2-6 o al A-2-7, solo se utiliza la ecuación parcial del IG que le corresponde con el IP.

$$IG = 0.01(F_{200} - 15)(IP - 10) \quad (19)$$

2.2.20. MODELO DE REGRESIÓN LINEAL SIMPLE

Cardona, Gonzáles, Rivera & Cárdenas (2013) definen que “El objetivo del análisis de regresión lineal es efectivamente determinar una función matemática de dos variables, la cual exprese el comportamiento de la misma, conocida los valores de otra variable”.

Se hará uso del modelo de regresión lineal simple para explicar el comportamiento de una variable que denotaremos como “Y” variable dependiente, que dependerá de otra variable independiente “X”, esta variable conoceremos como la variable explicativa o de predicción.

Para cumplir con este procedimiento de datos. Lo primero que se hará es representar los resultados obtenidos que corresponden a cada una de las variables en una gráfica. Esta gráfica se conoce como el diagrama de dispersión o nube de puntos. A partir de esta gráfica se genera la función matemática más adecuada que tenga mayor correlación y aproximación.

(Gutiérrez y de la Vara, 2008). “El modelo matemático para el estudio del comportamiento de la variable dependiente Y con respecto a una variable independiente X en mediante un modelo de regresión que se puede ajustar matemáticamente de la forma”.

$$Y = f(x) \quad (20)$$

Teniendo un número “n” de puntos se puede verificar si dado una variable independiente X es posible predecir el valor promedio de Y. “Suponiendo que las variables X e Y están relacionadas linealmente y que, para cada valor de X, la variable dependiente Y es una variable aleatoria. Es decir, que cada observación de Y puede ser descrita por el modelo”.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \varepsilon \quad (21)$$

Donde ε es un error aleatorio con media cero y varianza σ^2 . La ecuación 27 es conocida como el modelo de regresión lineal simple considerado que es un modelo adecuado.

(Gutiérrez y de la Vara, 2008). “Existen otros modelos de regresión que solo incluyen una variable independiente y que se aplican cuando se espera o se observa que la relación entre “X” y “Y” no es modelada por una línea recta, algunos de estos son los siguientes”.

◆ El exponencial : $Y = e^{\beta_0 + \beta_1 X}$

- ◆ El recíproco -Y : $Y = 1 / (\beta_0 + \beta_1 X)$
- ◆ Multiplicativo : $Y = \beta_0 X^{\beta_1}$
- ◆ Recíproco -X : $Y = \beta_0 + \beta_1 / X$
- ◆ Logarítmico -X : $Y = \beta_0 + \beta_1 \ln(X)$
- ◆ Raíz Cuadrada -Y : $\sqrt{Y} = \beta_0 + \beta_1 X$

Donde:

B_0 : son valores constantes

B_1 : valor o variable dependiente

X: Valor o variable independiente

Para poder interpretar los resultados es posible fundamentarlo en las diferentes regresiones lineales que expresan lo siguiente:

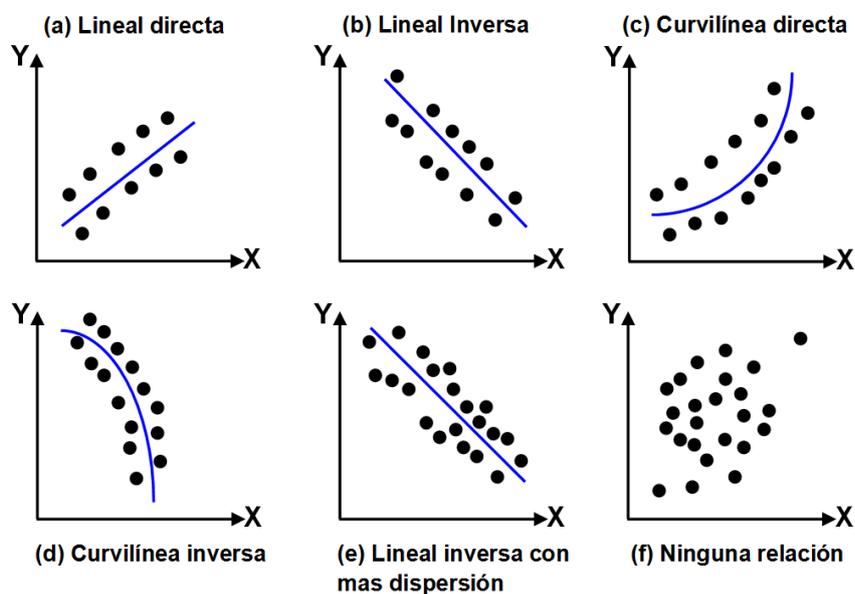


Figura 31. Tipos de diagrama de dispersión o nube de puntos

2.2.21. COEFICIENTE DE CORRELACIÓN (R^2)

El valor del coeficiente de correlación nos comunica la medida de la asociación lineal que existe entre las variables dependiente que es “Y” e Independiente que es “X”. Se dice que cuando el coeficiente de correlación se aproxima a la unidad 1, entonces la correlación entre estas variables es significativa y perfecta.

A continuación, se muestra algunos valores extremos del coeficiente de correlación, aunque son poco habituales en la práctica, Cardona et .al (2013)

- ◆ $r = -1$ entonces: Asociación lineal negativa perfecta entre X e Y.
- ◆ $r = 1$ entonces: Asociación lineal positiva perfecta entre X e Y.
- ◆ $r = 0$ entonces: no existe ninguna asociación lineal entre X e Y.

otra de las formas de valorar la significancia del coeficiente de correlación es de la siguiente forma:

- ◆ $r = 1$ entonces: la correlación lineal entre “X” e “Y” es perfecta.
- ◆ $r > 0.7$ entonces: la correlación lineal entre “X” e “Y” es aceptable.
- ◆ $0 < r < 0.7$ entonces: la correlación lineal entre “X” e “Y” es pobre.
- ◆ $r = 0$ entonces: la correlación lineal entre “X” e “Y” no existe.

2.2.22. ANÁLISIS DE REGRESIÓN LINEAL MÚLTIPLE

Según Gutiérrez & de la Vara (2008) “en muchas situaciones prácticas existen varias variables independientes que se cree que influyen o están relacionadas con una variable de respuesta Y, y por lo tanto será necesario tomar en cuenta si se requiere predecir o entender mejor el comportamiento de Y” por ejemplo, para explicar o predecir el consumo de electricidad en una habitación puede ser necesario considerar el tipo de residencia, el número de personas que viven, la temperatura promedio de la zona y otras cosas más.

Supongamos que X_1, X_2, \dots, X_k sean variables independiente y regresoras, y sea Y una variable de respuesta, entonces el modelo de regresión lineal múltiple con k variables independientes es el polinomio de primer orden.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k + \varepsilon \quad (22)$$

“Donde: β_j son los parámetros del modelo que se conoce como coeficientes de regresión y ε es el error aleatorio, con media cero, $E(\varepsilon) = 0$ y $V(\varepsilon) = \sigma^2$ ”. Gutiérrez et al (2008).

“El termino lineal del modelo de regresión se emplea debido a que la ecuación es función lineal de los parámetros desconocido $\beta_j, \beta_1, \dots, \beta_k$ la cual interpreta de la siguiente forma: β_0 es la ordenada al origen, y β_j mide el cambio esperado en Y por cambio unitario en X_j

cuando el resto de las variables regresoras se mantienen fijas o constantes". Gutiérrez et al (2008).

Para estimar los parámetros de la regresión lineal múltiple se necesita contar con "n" datos ($n > k$), que tienen la estructura descrita en la siguiente tabla 10. En la cual se puede apreciar que para cada combinación de valores de las variables regresoras, (X_{1i}, \dots, X_{ki}) se observa un valor de la variable dependiente, y_i . Gutiérrez et al (2008).

En términos de los datos, el modelo de la regresión lineal múltiple puede escribirse de la siguiente manera:

$$y_i = \beta_0 + \sum_{j=1}^k \beta_j x_{ji} + \varepsilon_i, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (23)$$

En el siguiente cuadro se muestra la estructura de los datos para la regresión lineal múltiple, las cuales son conformados por "Y" como la variable Independiente, X_1, X_2, \dots, X_k como las variables independientes o predictores.

Tabla 11
Estructura de los datos para la regresión lineal Múltiple

Y	X ₁	X ₂	...	X _k
y ₁	x ₁₁	x ₂₁	...	x _{k1}
y ₂	x ₁₂	x ₂₂	...	x _{k2}
	⋮	⋮		⋮
y _n	y _{1n}	x _{2n}	...	x _{kn}

Fuente: Gutiérrez et al (2008)

De igual forma en la tabla se muestra la prueba de ANOVA para determinar la significancia del modelo de regresión múltiple.

Tabla 12
ANOVA para la significancia del modelo de regresión lineal múltiple

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F ₀	Valor-p
Regresión	$SC_R = \hat{\beta}'X'y - \frac{(\sum_{i=1}^n y_i)^2}{n}$	k	CM _R	CM _R /CM _E	Pr(F > F ₀)
Error o residuo	$SC_E = y'y - \hat{\beta}'X'y$	n - k - 1	CM _E		
Total	$S_{yy} = y'y - \frac{(\sum_{i=1}^n y_i)^2}{n}$	n - 1			

Fuente: Gutiérrez et al (2008)

2.2.23. PRUEBA DE NORMALIDAD

2.2.23.1. PRUEBA DE SHAPIRO WILK PARA NORMALIDAD

Consideremos una muestra aleatoria de datos x_1, x_2, \dots, x_n que proceden de cierta distribución desconocida denotada por $F(x)$ se requiere verificar si dichos datos fueron generados por un proceso normal, mediante las hipótesis estadísticas.

Las investigaciones estadísticas recomiendan que siempre debe de probarse si los datos deben de seguir una distribución normal. Para lo cual fijamos las siguientes reglas.

- ◆ H_0 : Los datos de las variables siguen una distribución normal $F(x)$ es normal.
- ◆ H_1 : Los datos de las variables NO siguen una distribución normal $F(x)$ no es normal.

Si el P – Valor o Sig. es < que 0.01 o 1%, se RECHAZA “ H_0 ”

Si el P – Valor o Sig. es > que 0.01 o 1%, se ACEPTA “ H_0 ”

(Gutiérrez & de la Vara, 2008) describen los pasos para la prueba de Shapiro – Wilks siendo Primero. Se ordena los datos de menor a mayor. Denotando los datos ordenados por $X_{(1)}, X_{(2)}, \dots, X_{(n)}$. Segundo. De las tablas se obtienen los coeficientes a_1, a_2, \dots, a_k , donde k es aproximadamente $n/2$.

Tercero: se calcula el estadístico W definido como:

$$W = \frac{1}{(n-1)S^2} \left[\sum_{i=1}^k a_i (X_{(N-I+1)} - X_{(i)}) \right] \quad (24)$$

En donde S^2 es la varianza muestral.

Cuarto: Por último, si el valor del estadístico es mayor que su valor crítico al nivel seleccionado alfa seleccionado, se rechaza la normalidad de los datos.

En el análisis estadístico con el Software SPSS tenemos 2 opciones. Primero la prueba de normalidad bajo la autoría de Kolmogorov Smirnow y segundo Shapiro Wilk. Se dice que la primera prueba se utiliza para grupo de datos a analizar mayores a 50 y el segundo menores a 50.

2.2.24. COEFICIENTE DE DETERMINACIÓN PEARSON (R)

(Gutiérrez et al, 2008). Mencionan que un modelo sea significativo no necesariamente implica que sea bueno en terminas de que explique la variación de los datos. Por ello es importante tener mediciones adicionales de la calidad del ajuste del modelo, como las gráficas de residuales y el coeficiente de determinación”.

$$R^2 = \frac{SC_R}{S_{yy}} = 1 - \frac{SC_E}{S_{yy}} \quad (25)$$

Además, se puede usar la siguiente interpretación establecida en el mundo de la estadística.

Tabla 13
Cuadro de Interpretación coeficiente de Pearson

Valor "R"			Significado
		-1	Correlación negatica grande y perfecta
-0.9	a	-0.99	Correlación negatica muy alta
-0.7	a	-0.89	Correlación negativa alta
-0.4	a	-0.69	Correlación negativa moderada
-0.2	a	-0.39	Correlación negativa baja
-0.01	a	-0.19	Correlación negativa muy baja
		0	Correlación nula
0.01	a	0.19	Correlación positiva muy baja
0.2	a	0.39	Correlación positiva baja
0.4	a	0.69	Correlación positiva moderada
0.7	a	0.89	Correlación positiva alta
0.9	a	0.99	Correlación positiva muy alta
		1	Correlación positiva grande y perfecta

Fuente: Suárez y Tapia, 2012

2.2.25. COEFICIENTE DE CORRELACIÓN MÚLTIPLE (R²)

Es la raíz cuadrada del coeficiente de terminación R también se conoce como la bondad de ajuste. R² expresa la proporción de varianza de la variable dependiente que está explicada por las variables independientes. Dicho de otra forma, es el coeficiente de determinación la cual toma como valor más alto (su máximo es 1).

$$R = \sqrt{R^2} \quad (26)$$

Y es una medida de la intensidad de la relación entre la variable dependiente, Y, y el conjunto de variables o términos en el modelo (X_1, X_2, \dots, X_k). Gutiérrez et al (2008).

2.2.26. “R” CUADRADA CORREGIDA O AJUSTADA

Es una corrección a la baja de R^2 que se basa en el número de casos y de variables independientes. En una situación con pocos casos y muchas variables independientes, R^2 puede ser artificialmente alta. En tal caso, el valor de R^2 corregida será sustancialmente más bajo que el de R^2 .

$$R_{aj}^2 = 1 - \frac{CM_E}{CM_{total}} \quad (27)$$

2.2.27. PRUEBA T-Student

La prueba t-Student se fundamenta en dos premisas; la primera en la distribución de normalidad, y la segunda en que las muestras sean independientes. Permite comparar número de muestras “n” menor o igual a 30 y/o establece la diferencia entre medias de las muestras. “El análisis matemático y estadístico de la prueba con frecuencia se minimiza para $n > 30$, utilizando pruebas no paramétricas, cuando la prueba tiene suficiente poder estadístico”. (Sánchez, 2015)

2.2.27.1. METODOLOGÍA DE LA t – Student

Sánchez (2015) describe un procedimiento que es recomendable seguir en el análisis de metodología t-Student.

- ◆ Probar que cada una de las muestras tiene una distribución normal.
- ◆ Obtener para cada una de las muestras.
 - E tamaño de las muestras (n_1 y n_2)
 - Sus respectivas medias (m_1 y m_2)
 - Sus varianzas (v_1 y v_2)
- ◆ Probar que las varianzas sean homogéneas.
- ◆ En caso de homogeneidad en esas varianzas.
 - Establecer la diferencia entre medias (m_1 y m_2)

- Calcular la varianza común de dos muestras.

$$Vc = ((n_1 - 1)v_1 + (n_2 - 1)v_2)/(n_1 + n_2 - 2)$$

Es decir, la varianza común Vc es igual a un promedio pesado de las varianzas de las dos muestras en donde los pesos para ese promedio son iguales al tamaño menos uno ($n-1$) para cada una de las muestras.

- Con esa varianza común, se calcula el error estándar de la diferencia de las medias $ESM = \sqrt{((Vc)(n_1 + n_2)/(n_1 n_2))}$
- Finalmente, la t-Student es igual al cociente de la diferencia de medias entre el ESM anterior.

- ◆ De acuerdo con nuestra hipótesis nula y alterna se debe demostrar que existe diferencia entre las medias de las muestras, se consulta una tabla t- Student con grado de libertad igual a $n_1+n_2 - 2$ y se calcula el valor P.

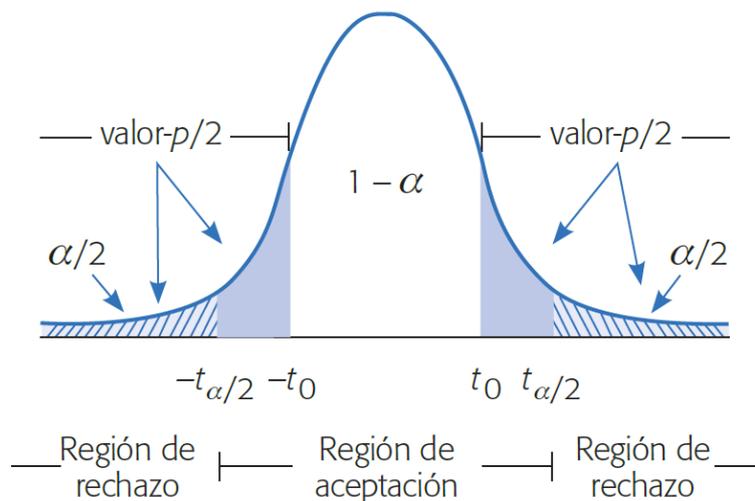


Figura 32. Comparación de significancia, Valor-p > alfa

En su aplicación correspondiente a la metodología t-Student en el Software SPSS, existen dos formas de interpretar los resultados, las cuales brindan resultados iguales a las cuales se requiere llegar. Sin embargo, detallaremos en esta sección lo aplicado en la presente investigación.

- ◆ Primero: Observar e identificar el **valor P(T<=t) dos colas** siendo el valor una probabilidad.
- ◆ Segundo: Para rechazar la hipótesis nula este valor debe ser menos a **0.05 (5%)**

2.3. SISTEMA DE VARIABLES

El sistema de variables tanto independientes como la dependiente se precisan como sigue:

Tabla 14
Sistema de variables independiente y dependiente de la investigación

VARIABLE	DIMENSIÓN	INDICADOR
<i>VARIABLE INDEPENDIENTE</i>		
<ul style="list-style-type: none"> Índice de P.D.C en campo. 	N° P.D.C	N° Golpes
<ul style="list-style-type: none"> Valor de C.B.R sobre muestra inalterada en laboratorio. 	Porcentaje [%]	Índice de CBR
<ul style="list-style-type: none"> Contenido de humedad del suelo. 	Porcentaje [%]	Índice de CBR
<ul style="list-style-type: none"> Densidad natural del suelo 	gr/cm ³	Peso unitario
<i>VARIABLES DEPENDIENTES</i>		
<ul style="list-style-type: none"> Valor de CBR, a través de la Ecuación de la ASTM. 	Porcentaje [%]	Ensayo de CBR en laboratorio
<ul style="list-style-type: none"> Variabilidad de los resultados entre el CBR de laboratorio y PDC en campo. 	Diferencia de Medias	Prueba de T- Student
<ul style="list-style-type: none"> Parámetros de la ecuación válidos para la calibración de la ecuación de correlación entre el PDC y CBR. 	Ipdc, (%W) y γs	Modelo de regresión lineal múltiple

Nota: m=masa en gramos, v=volumen en cm³

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1. TIPO Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

3.1.1. TIPO

El tipo de Investigación a realizar será CORRELACIONAL – EXPLORATORIA, dado que se realizará en una primera etapa, la exploración de muestras de estudio. Y a través de los ensayos y análisis, generando una ecuación correlacional calibrada podrá determinarse los valores que darán validez la capacidad de soporte California (CBR) del suelo.

3.1.2. DISEÑO

El diseño de la Investigación es NO EXPERIMENTAL, ya que, en el proceso de investigación, no será posible manipular ninguna variable, además los ensayos in situ de Penetración Dinámica de Cono, determinación del grado de humedad y densidad natural del suelo, serán únicamente practicados y medidos según corresponda a la naturaleza del terreno. Y de estos dependerán los valores que se desean obtener en la Investigación.

3.2. UNIVERSO, POBLACIÓN Y MUESTRA

3.2.1. UNIVERSO

El universo del estudio son todos los suelos en carreteras a nivel de la subrasante. Las cuales pueden considerarse en Autopistas de primera clase, segunda clase. Además, las carreteras de primera, segunda y tercera clase. Finalmente, las trochas carrozables según la clasificación del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC).

3.2.2. POBLACIÓN

La investigación se efectúa en el distrito de Juliaca, el alineamiento o derecho de vía paralelo a la autopista de Juliaca – Puno, margen izquierdo. Siendo el inicio el ÓVALO de la llegada a la ciudad de Juliaca, (0+000.00), finalizando en el distrito de CARACOTO con un desarrollo horizontal y total de (4+010.00) km.

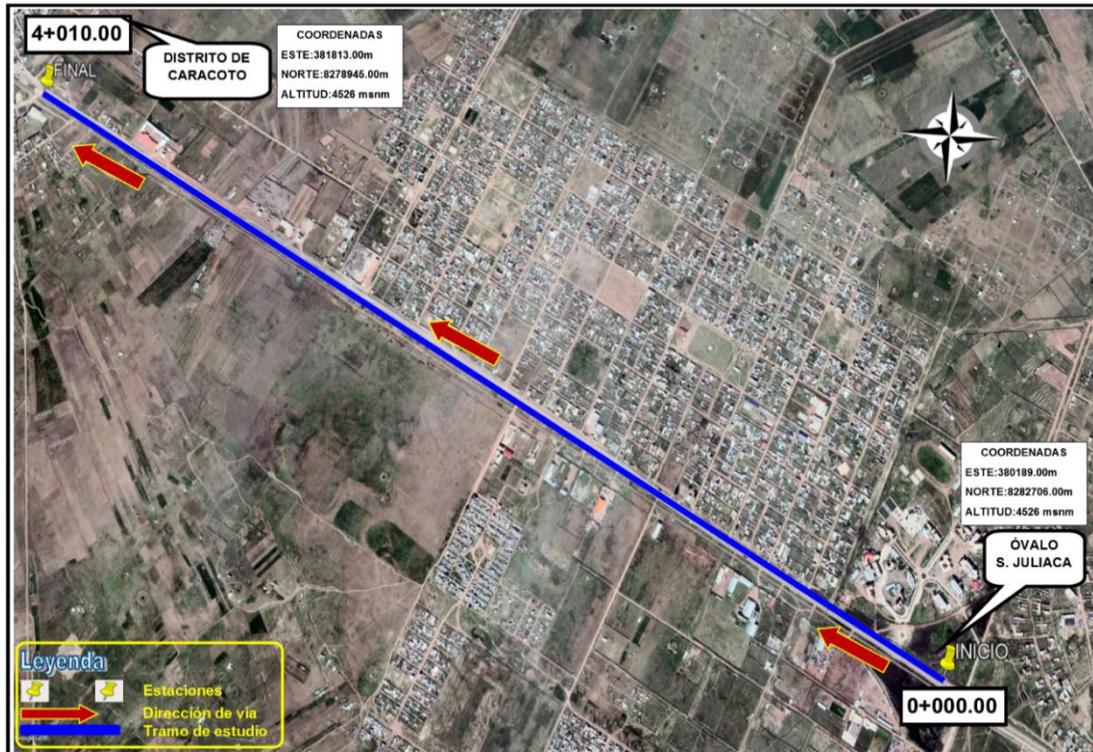


Figura 33. Ubicación de la población y zona de estudio en la investigación

3.2.3. MUESTRA

La muestra utilizada es proveniente de los puntos de investigación, mediante exploración de **16** calicatas a cielo abierto, según rige la normativa del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), para el estudio de CBR de diseño en obras viales o carreteras.

La normativa menciona que el número mínimo de calicatas que se deben de realizar en una carretera de primera clase es de 04 calicatas/kilómetro. Entonces fraccionaremos la longitud total de desarrollo del tramo de estudio entre 250 metros de separación.

- ▶ Longitud del tramo L (m) : 4,010.00m
- ▶ Separación entre calicatas S (m) : 250.00m

$$\text{N}^\circ \text{ puntos} = \frac{4,010.00\text{m}}{250.00\text{m}} = 16.04$$

Nº puntos a explorar = 16 calicatas

Entonces redondeando la operación, se sabe que la cantidad de los puntos de exploración será un total de 16 calicatas.



Figura 34. Ubicación de los puntos de exploración de la investigación

De igual forma en la tabla 15, se precisa y muestra las coordenadas UTM WGS84 con sus respectivas elevaciones que corresponden al trabajo de investigación.

Tabla 15
Coordenadas UTM WGS84 de los puntos de investigación

CALICATAS	COORDENADAS UTM WGS84		COTA m.s.n.m
	Este (m)	Norte (m)	
C-01	380272.000	8282621.000	3823.000
C-02	380369.000	8282385.000	3823.000
C-03	380470.000	8282150.000	3824.000
C-04	380571.000	8281907.000	3826.000
C-05	380670.000	8281679.000	3826.000
C-06	380765.000	8281207.000	3828.000
C-07	380871.000	8281207.000	3829.000
C-08	380962.000	8280967.000	3830.000
C-09	380962.000	8280967.000	3826.000
C-10	381164.000	8280495.000	3827.000
C-11	381262.000	8280257.000	3826.000
C-12	381378.000	8280001.000	3828.000
C-13	381476.000	8279763.000	3825.000
C-14	381579.000	8279528.000	3827.000
C-15	381680.000	8279292.000	3829.000
C-16	381788.000	8279030.000	3830.000

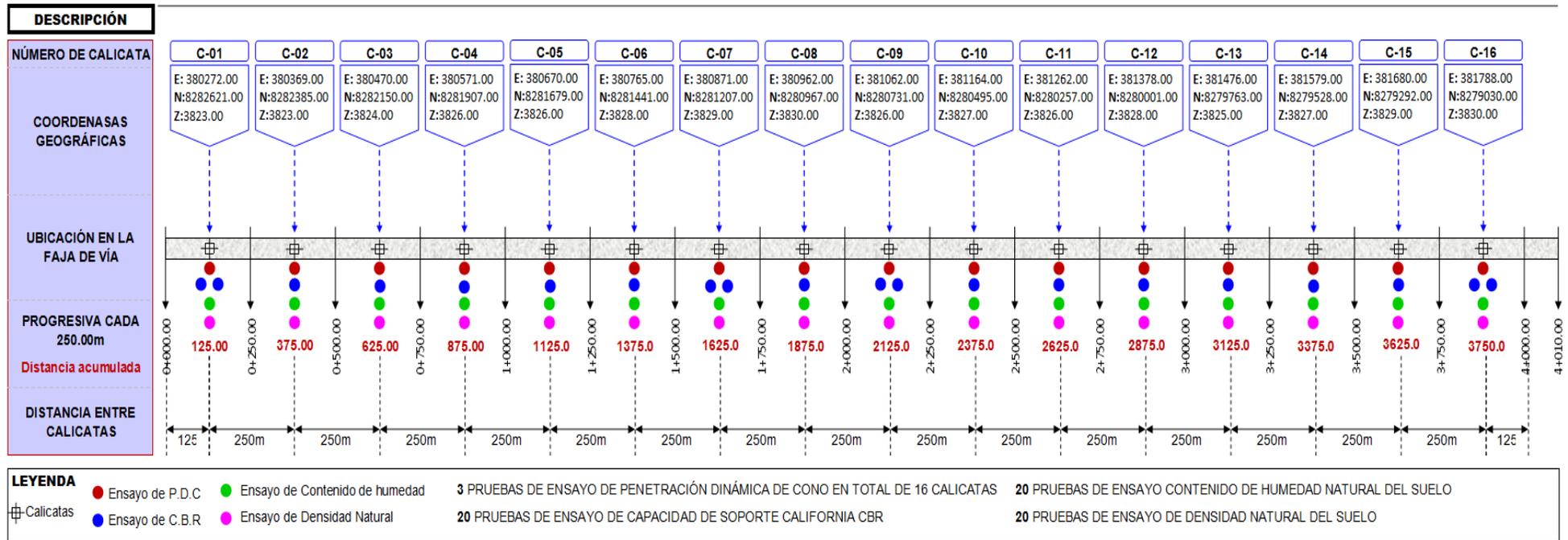


Figura 35. Ubicación longitudinal de los puntos de estudio en todo el desarrollo del tramo.

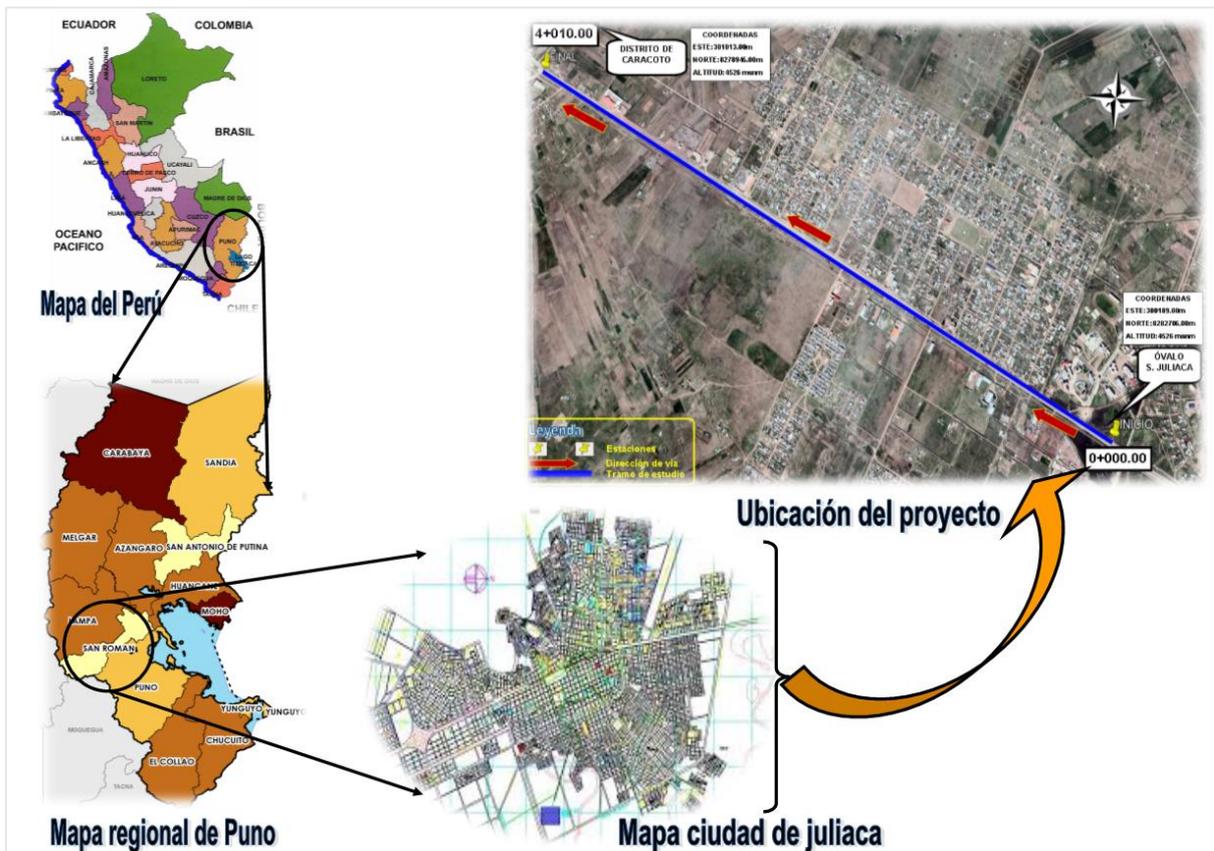
El esquema muestra la ubicación de los puntos de estudio en todo el desarrollo del tramo de estudio. Este tramo de estudio tiene una longitud total de 4+010.00km, en el cual se ubica las calicatas y puntos de exploración que es representado mediante su simbología. Los puntos de color marrón representan los ensayos de PDC (Penetración Dinámica de Cono) que se practicará en todos los puntos. De similar forma los puntos de color azul, representan puntos de estudio en donde se realizarán los ensayos de CBR (Capacidad de Soporte California), haciendo que por cada kilómetro será practicado 2 ensayos de CBR propiamente dicho.

3.3. DESCRIPCIÓN DEL LUGAR

3.3.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA

La ubicación geográfica de la zona de estudio comprende y se desarrollará en:

- ◆ Departamento : Puno
- ◆ Provincia : Juliaca
- ◆ Distrito : Juliaca – Caracoto



3.3.2. ZONA DE ESTUDIO

La zona de estudio comprende la vía existente que tiene como origen la llegada a la ciudad de Juliaca y destino la ciudad de Puno. Para la presente Investigación se toma como tramo de Inicio (0+000.00) el óvalo de la salida a la ciudad de Puno con coordenadas UTM que se indica en la figura N°33 y como el final del tramo de estudio, la localidad de Caracoto con desarrollo total de (4+010.00).



Figura 37. Tramo de estudio de la investigación

Donde **(a)** es el punto de inicio en la exploración y **(b)** es el tramo final del estudio.

Los puntos de intervención exploratoria en campo es el margen izquierdo dentro del derecho de vía, esto debido a existencia de la infraestructura antigua y nueva que se encuentra en proceso de ejecución.

3.3.3. TOPOGRAFÍA

La topografía del terreno es relativamente plana, sin pendientes pronunciadas las cuales son menores al 4%. Según las diferencias de altura determinadas en el reconocimiento del terreno.



Figura 38. Topografía del terreno en el tramo de estudio.

3.3.4. OROGRAFÍA

La orografía de la zona de estudio es un terreno ondulado tipo2, según la normativa del

diseño geométrico de carreteras. Con presencia de material orgánico pastos e Ichus.



Figura 39. Orografía del terreno en el tramo de estudio

3.3.5. CLIMA

Según el plan de desarrollo urbano que corresponde a los periodos 2016 – 2025. La ubicación de la ciudad de Juliaca, con respecto a su altitud provoca la existencia de un clima frío durante el periodo de verano. Además, en vista de que la ubicación de la localidad de Juliaca tiene cercanía al lago Titicaca y la presencia del río Coata, son las principales fuentes de afluencia de la humedad en los suelos. Tal se observa la elevada existencia del nivel freático en los suelos.

Según el plan de desarrollo urbano que corresponde a los periodos 2016 – 2025. La ciudad de Juliaca, tiene una estación húmeda entre el mes de noviembre a marzo, y otra estación seca entre los meses de junio a agosto y con dos periodos de transición entre Setiembre –Octubre y Abril – Mayo.

3.4. MATERIALES

El material de estudio en el presente caso, será en particular los suelos existentes a nivel de subrasante según se han hallado en campo y realizado la correspondiente clasificación mediante los métodos SUCS y AASHTO. Las cuales se caracterizan y han sido agrupados como:

Suelos Finos: Limos de baja plasticidad (**ML**), limos de alta plasticidad (**MH**) y Arcillas de baja plasticidad (**CL**).

Suelos arenosos: arenas bien graduadas (**SW**) y arenas pobremente graduadas (**SP**) únicamente.

3.5. METODOLOGÍA

A metodología practicada en la presente investigación, se muestra en el siguiente diagrama de flujo tanto del trabajo en campo y laboratorio. la cual se describe de la siguiente forma.

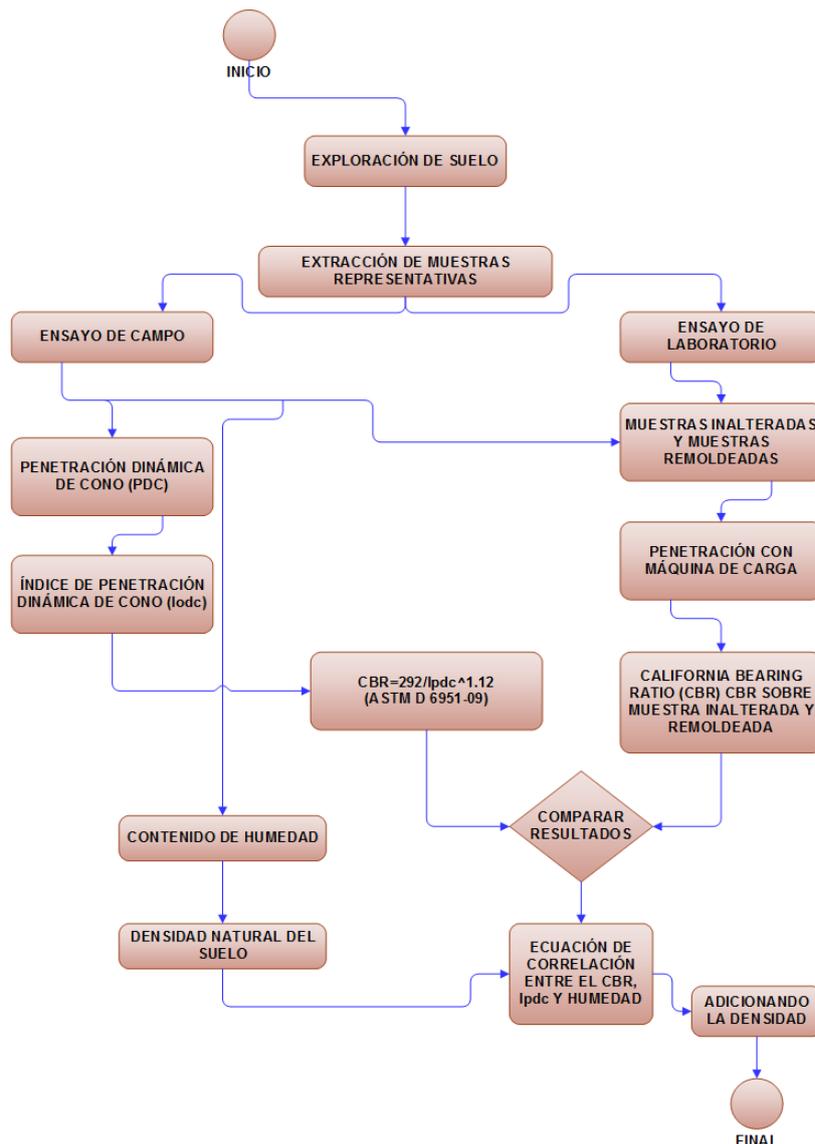


Figura 40. Diagrama de flujo seguido en la investigación

Se realiza el reconocimiento del terreno ya replanteados, estacados y marcados en un trabajo anterior. Realizando una excavación de la misma haciendo uso de maquinaria para acelerar los tiempos de trabajo, o también manualmente dependiendo de la disponibilidad y accesibilidad al área de exploración. Culminada esta actividad se practica la exploración

y recojo de muestras representativas ya sea en estado alterada e inalterada. Para su posterior análisis y ensayo en laboratorio, según el requerimiento de la investigación.

Entre el ensayo de campo o in situ se tiene el ensayo de Penetración Dinámica de Cono, regido por la Norma ASTM D 6951 – 03. Para lo cual se hace uso del equipo de Penetrómetro Dinámico de Cono (PDC). Para este ensayo en particular se debe de generar un área libre a un extremo derecho o izquierdo de la calicata como se muestra en la figura 39. siendo el procedimiento la instalación del equipo, con un operador que sujeta la manija con el fin de dar la verticalidad a la misma, un segundo que deja caer el martillo o masa de 8kg y el tercero que toma los apuntes de la altura de penetración en cada golpe.

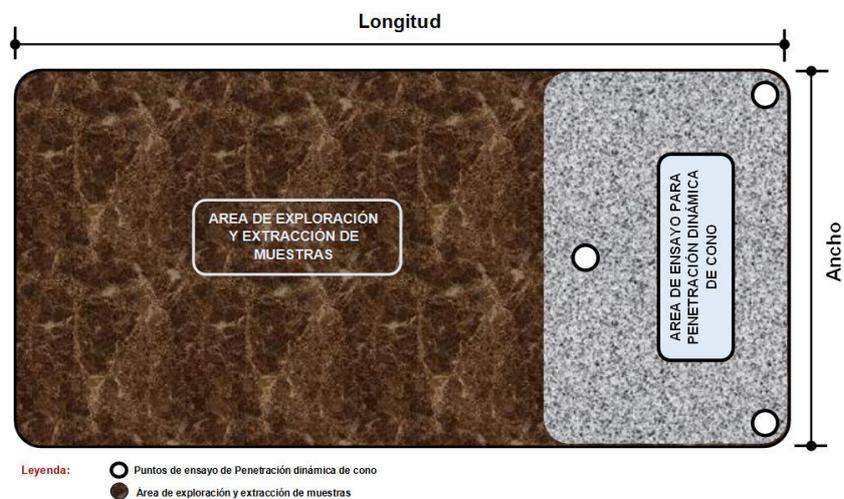


Figura 41. Exploración de muestras y aplicación del ensayo PDC in situ.

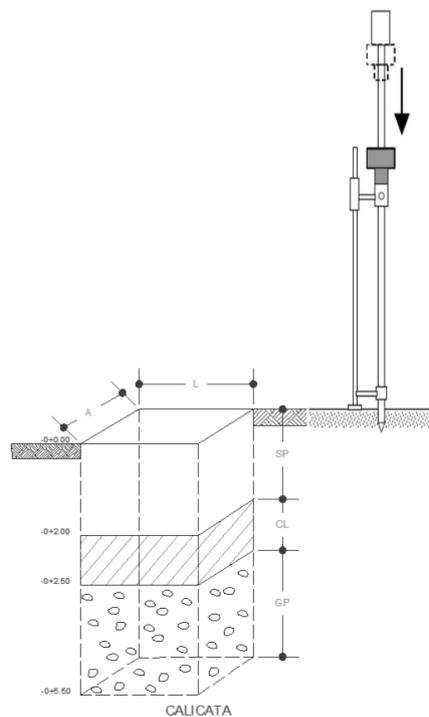


Figura 42. Aplicación del ensayo de Penetración Dinámica de Cono in situ.

Entre los ensayos de laboratorio se considera indispensable, los trabajos convencionales para la clasificación del suelo, como la granulometría del suelo, límites de consistencia y contenido de humedad natural de la misma. Y en particular con fines específicos de la investigación el ensayo de (Capacidad de Soporte California) C.B.R de laboratorio regido por la norma MTC E 132 – 2000, o el modo operático que se basa en la norma internacional ASTM D 1883 y AASHTO t 193. Este ensayo un grupo sobre muestras inalteradas y el segundo sobre muestras remoldadas bajo humedad y densidad natural.

Una vez culminada este tiempo, se traslada la muestra a la prensa de penetración de C.B.R. registrando la deformación tangencial y normal para cada espécimen, del cual se obtiene el resultado que se identifica como valor de soporte califonia C.B.R de laboratorio, e diferentes condiciones, además de esto con los resultados que se han obtenido del Índice de Penetración Dinámica de Cono, se realiza la operación en la expresión matemática de la ASTM D 6951, obteniendo valores de C.B.R de campo.

Entre el valor de C.B.R de campo determinado mediante el ensayo de PDC y CBR de laboratorio ensayadas sobre muestras inalteradas y remoldadas se hacen comparaciones, para cada punto de ensayo si estos resultados observados cumplen o tienen un grado de variación, sin en caso cumpliera es válida la misma y su aplicabilidad, caso contrario se niega la validación generando y calibrando una nueva ecuación de correlación experimental aplicativo para los suelos de la ciudad de Juliaca.

3.6. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.6.1. TÉCNICAS

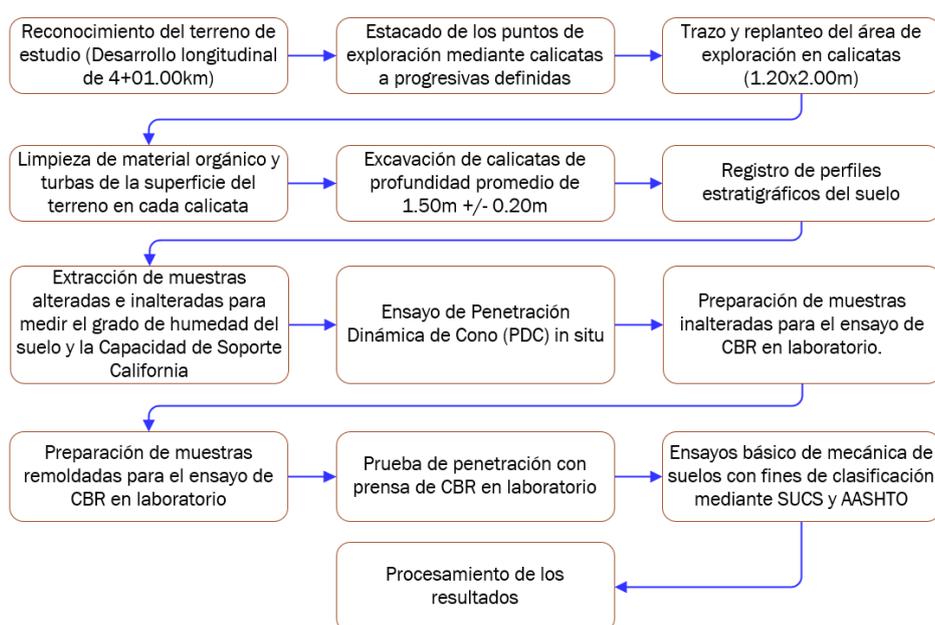


Figura 43. Técnicas practicadas en la recolección de los datos.

3.6.2. INSTRUMENTOS

- ◆ Los instrumentos requeridos en la ejecución del proyecto son:
- ◆ GPS GARMIN y cámara fotográfica.
- ◆ Estacas de madera punteadas de 30 cm de altura.
- ◆ Pico, pala y yeso.
- ◆ Cuaderno de campo para registro y exploración de suelos.
- ◆ Valdez y recipientes impermeables para almacenamiento de muestras.
- ◆ Cuchara de Casagrande, Tamices granulométricos, taras, recipientes.
- ◆ Molde de CBR.
- ◆ Equipo Penetrómetro Dinámico de Cono.
- ◆ Prensa de CBR.
- ◆ Laptop.

3.6.3. TRABAJOS DE CAMPO O IN SITU

3.6.3.1. *EXPLORACIÓN Y MUESTREO DE SUELOS*

Finalidad y Alcances

La exploración y muestreo de suelos consiste en el trabajo de campo. Y esto se realiza una vez culminada la ubicación y replanteo de los puntos de exploración. El trabajo consiste en retirar un volumen de suelo generando una calicata a cielo abierto con sección rectangular de preferencia. La cual ayuda a la trabajabilidad y operabilidad al momento de la extracción de muestras.

Existen dos formas de extraer las muestras, alteradas e inalteradas. Estos mismos han sido practicadas en el presente trabajo de investigación. Las muestras alteradas son muestras representativas a las cuales se conserva su composición mineralógica y algo más de humedad. Pero no se conserva la estructura y otras condiciones que tenía in situ. Y las muestras inalteradas, conservan sus condiciones que tenía en el sitio.

Una vez culminada la extracción de las muestras ya sean alteradas e inalteradas. Estos se trasladan al laboratorio para el respectivo ensayo y determinación de sus características físicas y mecánicas.

Equipos y Materiales

- ◆ Pico
- ◆ Pala
- ◆ Barreno
- ◆ Sacos
- ◆ Baldes descartables
- ◆ Pizarra acrílica
- ◆ Plumones marcadores
- ◆ Cinta de embalaje
- ◆ Flexómetro
- ◆ Equipos de protección personal

Procedimiento

- ◆ Ubicar el punto de exploración en la progresiva del tramo de estudio.
- ◆ Retirar el material orgánico existente hasta una profundidad considerable con respecto al nivel de la subrasante.
- ◆ Trazar el área de exploración, la cual depende de la comodidad al operador y facilidad cuando se desea recoger las muestras.
- ◆ Ir excavando y a manera que se avanza en profundidad, registrar los estratos existentes según el color, tamaño de partículas, etc.
- ◆ Generar una especie de plataforma mínima de 50x50cm de lado, a un extremo de la calicata, que servirá para la prueba de Penetración dinámica de Cono. Esto a una profundidad de 0.50m con el fin de ganar altura y alcanzar una profundidad de 1.50m que complementa el eje inferior del equipo PDC.

- ◆ Extraer las muestras representativas del suelo para su análisis en laboratorio, cubriendo en bolsas de polietileno o baldes descartables.



(a): Excavación inicial de 0.5 +/- 0.10m, para comienzo del ensayo de PDC. / (b): Excavación de calicata con maquinaria. / (c): Registro del perfil estratigráfico del suelo. / (d): Extracción de muestras para ensayo en laboratorio.

Figura 44. Procedimiento para trabajos de exploración del suelo en calicatas.

Para observar los resultados de exploración se puede recurrir al **anexo B-1**: Exploración de Calicatas en donde se tiene registrado la profundidad de exploración, lugar de donde ha sido extraído las muestras; el tipo de suelo que clasifica para los suelos de interés mediante el método SUCS y AASHTO.

3.6.3.2. ENSAYO DE PENETRACIÓN DINÁMICA DE CONO (PDC)

Finalidad y Alcance

Este método de ensayo tiene la finalidad determinar el índice de PDC (mm/golpe) in situ. Este valor se mide a través de la caída del martillo de 8kg sobre un eje vertical. La profundidad de penetración se registra en el marcador metálico que es propio del equipo. El suelo en el cual se aplica es inalterado el mismo punto de exploración del cual se obtendrá los valores de CBR (capacidad de soporte california).

Equipos y Materiales

- ◆ Varilla guía en acero VCL con \varnothing 5/8", x 70cm, rosca interior, exterior de 5/8" x 11h/pulg. Longitud de rosca 25mm.

- ◆ Contramasas con \varnothing largo de 60mm, con rosca interior de 7/16 pasante, acero HV945.
- ◆ Cono de acero VCL con diámetro de 20mm, con una longitud de 54mm, rosca de 7/16" con tratamiento térmico templado.
- ◆ Martillo para PDC de 8kg.
- ◆ Regla metálica de 1000mm (1.00m).
- ◆ Guía e indicador de altura
- ◆ Soporte para regla metálica

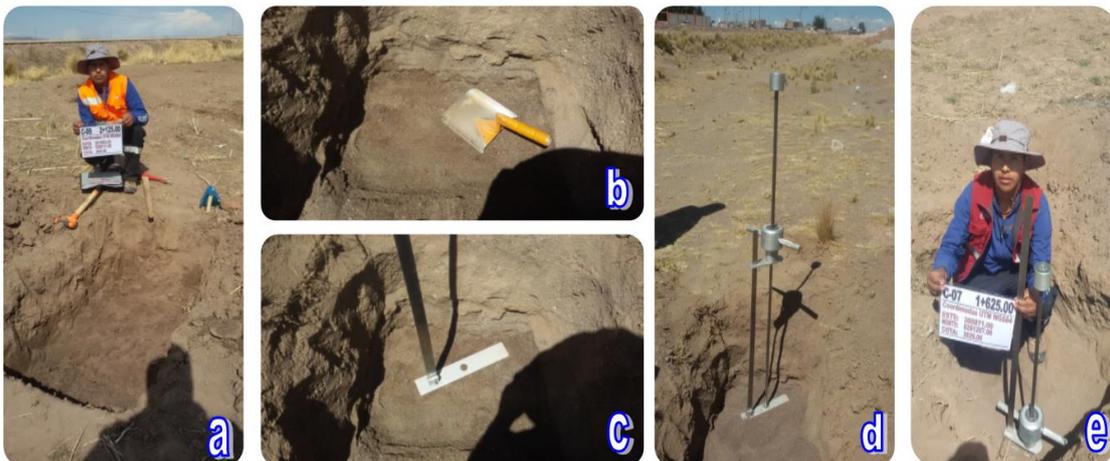
Según la norma ASTM D 6951 – 03. La condición de los accesorios del equipo debe de cumplir las siguientes tolerancias:

- ◆ La tolerancia en el peso del martillo de 8 kilogramos es 0.010 kg.
- ◆ La tolerancia en el peso del martillo de 4.6 kg es 0.010 kg.
- ◆ La tolerancia en la altura de caída de 575 mm es 1 mm.
- ◆ La tolerancia en el ángulo de la punta del cono de 60° es 1°.
- ◆ La tolerancia en la base de medida del cono de 20 mm es 0.25 mm.

Procedimiento

- ◆ Se traslada el equipo PDC (Penetrómetro Dinámico de Cono) al lugar de exploración.
- ◆ Colocar el cono de 60° en la varilla del eje inferior, enroscando de tal forma quede bien sujeto entre la varilla y el cono.
- ◆ Unir la varilla del eje superior a través del yunque o contrapeso con la varilla del eje inferior de penetración.
- ◆ Colocar la regla de medición metálica, asegurando mediante una tuerca entre el sujetador ubicada en el centro del PDC y la placa final del eje inferior.
- ◆ Ubicar o estacional el equipo en el punto de ensayo.

- ◆ Colocar la masa de 8kg, sobre el yunque o compreso que une los dos ejes.
- ◆ Finalmente colocar la manija o contrapeso superior enroscando de manera que quede bien sujeta.
- ◆ Sujetar el equipo de la manija, con el fin de mantener su verticalidad.
- ◆ Levantar de los dos mangos de fierro, en la masa y dejar de caer hasta lograr una penetración del cono.
- ◆ Tomar registro mediante la regla de medición la penetración que genera cada uno de los golpes.
- ◆ Culminada el ensayo, extraer el total de la barra penetrada y hacer la limpieza correspondiente, para trasladarse a otro punto de estudio.



(a): Excavación inicial de 0.5 +/- 0.10m, para comienzo del ensayo de PDC. / **(b):** Preparación del área de prueba. / **(c):** colocación de la placa base direccional. / **(d):** Estacionamiento del equipo PDC. **(e):** Prueba final.

Figura 45. Procedimiento de ensayo para la prueba de Penetración Dinámica de Cono.

Cálculos

Para los cálculos respectivos se ha empleado la fórmula de la ecuación 11 que tiene la siguiente forma:

$$IPDC = \frac{P(i+1) - P(i)}{B(i+1) - B(i)}$$

Caso práctico tomaremos para la calicata 01, E-01:

Tabla 16*Ejemplo en la determinación del Ipdc.*

N° de golpe	PRUEBA 01		PRUEBA 02		PRUEBA 03		Promedio	
	Penetración (cm)	NPDC(mm/g o/p)						
1	6.50	0.00	8.50	0.00	7.30	0.00	7.43	0.00
2	8.80	23.00	11.90	34.00	9.60	23.00	10.10	26.67

Prueba 01: $IPDC = \frac{8.80 - 6.50}{2 - 1} * 10mm = 23mm / golpe \Rightarrow$ Aceptable

Prueba 02: $IPDC = \frac{11.90 - 8.50}{2 - 1} * 10mm = 34mm / golpe \Rightarrow$ Inaceptable

Prueba 03: $IPDC = \frac{9.60 - 7.30}{2 - 1} * 10mm = 23mm / golpe \Rightarrow$ Aceptable

Ya que se realizaron 03 pruebas podemos descartar fácilmente a un tercero que no se asemeja a los otros resultados, pero en el suelo de interés. Finalmente, se trabaja con el promedio de los dos valores que vendría ser igual a 23mm/golp. Para este caso se ha promediado los tres valores ya que no es el estrato de interés. Estos resultados se pueden observar en el anexo de la siguiente forma, siendo los resultados que se hacen usos correspondientes al estrato E-03:

Tabla 17*Resultados del Ipdc calculados.*

RESULTADOS	INDICE PDC (mm/glp)		
	P-01	P-02	P-03
E-01	16.44	20.92	15.69
E-02	17.62	20.38	23.06
E-03	42.00	39.60	43.79

3.6.4. TRABAJOS DE LABORATORIO

3.6.4.1. CONTENIDO DE HUMEDAD EN EL SUELO

Finalidad y Alcance

El contenido de humedad de un suelo es la división de un tanto de agua que tiene una masa de suelo, con relación al peso de las partículas sólidas o secas que tiene la misma muestra. Este valor se expresa en grado de porcentaje de humedad.

El modo operativo es simple. Tomar una porción de muestra del suelo al cual se quiere determinar esta propiedad. Determinar su peso original o natural y secar esta muestra hasta que alcance un peso constante en horno controlado a $110 \pm 5^\circ\text{C}$. La muestra seca consideramos como las partículas sólidas o secas. La diferencia de peso debido al secado se considera como el peso del agua.

Equipos y Materiales

- ◆ Horno de secado, con capacidad de mantener una temperatura de $110^\circ \pm 5^\circ\text{C}$.
- ◆ Balanza de capacidad conveniente, con aproximaciones en peso de 0.01gramos para muestras con menos de 200gramos. Y de 0.1gramos para muestras con más de 200 gramos.
- ◆ Recipientes o taras de aluminio, las cuales no tengan cambio de peso al someter a altas temperaturas y los enfriamientos.

Muestra

La muestra utilizada para el ensayo de contenido de humedad, es la muestra inalterada que se ha extraído en el momento de exploración, que ha sido preservado y trasladado para este fin. Para su ensayo, se tendrá que extraer una porción de la muestra del núcleo del bloque de suelo conservado. Según el MTC E 108, recomienda este criterio.

Tabla 18
Cantidad de muestra a utilizar para el ensayo de contenido de humedad

Máximo tamaño de partículas (pasa el 100%)	Tamaño de malla estándar	Masa mínima recomendada de especímenes de ensayo húmedo para contenidos de humedad reportados	
		a \pm 0.1%	a \pm 1%
2mm o menos	2.00mm (N°10)	20g	20g*
4.75 mm	4.760mm (N°4)	100g	20g*
9.5 mm	9.525mm (3/8")	500g	50g*
19.0 mm	19.050mm (3/4")	2.5kg	250g*
37.5 mm	38.1mm (1 1/2")	10kg	1kg
75.0 mm	76.200mm (3")	50kg	5kg

Fuente: MTC, 2013

Procedimiento

- ◆ Se prepara una tara metálica con capacidad de 20 gramos como mínimo tal cual indica la norma.
- ◆ Se determina y se registra el peso del contenedor. Además, se identificando y se enumera en la cara del recipiente de cada una las muestras.
- ◆ Se coloca el espécimen de ensayo en el contenedor. Además, se determina el peso conjunto entre el contenedor y la muestra húmeda registrándose la misma.
- ◆ La muestra en el espécimen se coloca en el horno a una temperatura de $110^{\circ} \pm 5^{\circ}\text{C}$. durante toda la noche o 24 horas.
- ◆ Pasado el periodo del secado constante en el horno. Retirar el contenedor y la muestra y dejar enfriar, de tal manera que este sea manejable con las manos.
- ◆ Determinar el peso del contenedor y la muestra seca. Registrando este valor para su posterior cálculo del parámetro buscado que es el grado de humedad.



Figura 46. Procedimiento para determinar el contenido de humedad del suelo

Cálculos

$$W = \frac{\text{Peso de agua}}{\text{Peso de suelo secado alhorno}} \times 100 \quad (28)$$

$$W = \frac{M_{CWS} - M_{CS}}{M_{CS} - M_C} \times 100 = \frac{M_w}{M_s} \times 100 \quad (29)$$

Donde:

- W : Contenido de humedad en (%)
- M_{CWS} : Peso de la tara incluyendo el suelo húmedo (gr)
- M_{CS} : Peso de la tara más el suelo seco (gr)
- M_C : Peso de la tara (gr)
- M_w : Peso del agua (gr)
- M_s : Peso del suelo seco (gr)

3.6.4.2. DENSIDAD NATURAL DEL SUELO

Finalidad y Alcance

La finalidad de este ensayo es determinar la densidad natural del suelo, quiere decir la relación que tiene una unidad de masa de suelo respecto a su propio volumen. Este valor determinado será necesario para hacer uso en la determinación del valor de Capacidad de Soporte California CBR, remoldeado en laboratorio, entonces una vez practicado el ensayo de Proctor a humedad natural del suelo, se realiza el ensayo de CBR a los tres especímenes. Estos resultados se muestran en una gráfica de CBR (%) vs Densidad (gr/cm³) habiendo una densidad en su estado suelto y compacto. La densidad natural del suelo debe de estar entre estos dos parámetros, la cual servirá para determinar el Valor de CBR para dicha muestra.

Equipos y Herramientas:

- ◆ Moldes metálicos Cilíndricas de dimensiones conocidas.
- ◆ Una comba para hincado y penetración del molde.
- ◆ Bolsas plásticas y cinta de embalaje.
- ◆ Otras herramientas.

Procedimiento:

- ◆ Se prepara una superficie plana del suelo de interés haciendo uso de una paleta.

- ◆ Se coloca los moldes sobre el área plana y se procede a hincar hasta hundir completamente el molde. Si es posible con la ayuda de una comba.
- ◆ Se retira el molde hincado con una porción de muestra más.
- ◆ Se enraza ambas caras del molde con muestra y se protege haciendo uso de una bolsa de plástico y cintas de embalaje, se traslada al laboratorio con mucho cuidado.
- ◆ Se determina el peso y el volumen de la muestra con precisión de 0.1gr.



(a): Moldes circulares preparados para extraer las muestras. / **(b):** área habilitada para extraer las muestras. / **(c):** hincado de los moldes en el suelo de interés. / **(d):** enraizado y embalado de las muestras extraídas. / **(e):** determinación del peso unitario del suelo y respectivo volumen. / **(f):** determinación del contenido de humedad del suelo.

Figura 47. Procedimiento para determinar la densidad natural del suelo

Cálculos

$$\gamma_s = \frac{W}{V} \quad (30)$$

Donde

γ_s : Densidad natural del suelo (gr/cm³)

W : Peso del suelo en (gr)

V : Volumen del suelo en (cm³)

3.6.4.3. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL SUELO MEDIANTE TAMIZADO

Finalidad y Alcance

(Anónimo) “La finalidad de esta prueba es determinar la cantidad o porcentaje de suelo que pasa por cada una de las tamices empleadas y estandarizadas. Estos tamices tienen un tamaño finito de orificios calibrados según el tamaño de las partículas en diámetro. Los resultados obtenidos mediante el ensayo de granulometría, permitirán la caracterización de los suelos que se estudian. La forma más práctica de representar estas distribuciones granulométricas, es mediante la curva granulométrica propiamente dicho”.

Equipos y Materiales

- ◆ Dos tipos de balanzas: la primera con precisión de 0.01 gramos para estimar el peso del suelo que pasa el tamiz de 4.760mm (N°4). La segunda con precisión de 0.1% del peso de la muestra para determinar el peso de los suelos retenidos en el tamiz de 4.760mm (N°4).
- ◆ Horno para secado de las muestras lavadas, con capacidad de temperatura de $110^{\circ} \pm 5^{\circ}\text{C}$.
- ◆ Juego de tamices estandarizados con malla cuadrada.
- ◆ Envases o recipientes adecuadas para el manejo y secado de las muestras.
- ◆ Cepillo metálico o brochas para limpieza de la malla de los tamices

Muestra

La muestra a utilizar para la prueba de granulometría, constituye de dos fracciones, una que son las fracciones de suelo retenidos en la malla N°4 (4.760mm) y otra que pasa la malla N°4. Para el caso de esta investigación se utiliza suelos arenosos, arcillosos y arenas. La cual requiere el uso de los tamices inferiores a la malla N°4.

Según el manual de ensayo de materiales del MTC. Indica que el tamaño de la porción que pasa la malla N°4 (4.760mm), se tomará aproximadamente de 115 gramos para suelos arenosos y de 65 gramos para suelos con presencia de arcilla y limo.

Procedimiento

- ◆ Se selecciona una muestra representativa del suelo a analizar, y que pase el tamiz N°4. El peso debe ser de aproximadamente 150 gramos.
- ◆ Disgregar los grumos existentes en el material, haciendo uso de una comba.
- ◆ Tomar el peso de la fracción fina del suelo, y colocar en un recipiente suministrando agua en la misma con el fin de remojar y deshacer los grumos completamente.
- ◆ Vaciar el contenido de muestra saturado sobre el tamiz N°200, y con el suministro constante del agua, realizar el lavado de la parte final del suelo. Hasta que el agua que escurre de esta, sea cristalina.
- ◆ Se coloca esta muestra lavada en recipiente o bandeja para su posterior secado en el horno de temperaturas de $110^{\circ} \pm 5^{\circ}\text{C}$.
- ◆ Se procede a tamizar la muestra seca haciendo uso de los tamices inferiores al N° 4 y el fondo.
- ◆ Se determina el peso de las fracciones retenidas en cada una de los tamices y se toma nota.



Figura 48. Procedimiento para ensayo de granulometría del suelo mediante tamizado

Cálculos

Usando los datos obtenidos, se procede a realizar los cálculos para cada una de los tamices y mallas.

Porcentaje retenido parcial

$$\% \text{ Retenido Parcial} = \frac{\text{Peso ret. Parcial}}{\text{Peso Total}} \times 100 \quad (31)$$

Porcentaje que pasa por el tamiz x

$$\% \text{ Pasa Tamiz}(i) = 100 - \% \text{ ret. Acum}(i) \quad (32)$$

Coeficiente de Uniformidad

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad (33)$$

Coeficiente de Curvatura

$$C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{60} * D_{10}} \quad (34)$$

Donde: D_{60} , D_{30} , D_{10} , representa los diámetros efectivos del suelo, por el cual pasa el 60%, 30% y 10% del material.

3.6.4.4. LÍMITES DE CONSISTENCIA

Finalidad y Alcance

La práctica del ensayo de Límites de consistencia es indispensable. La cual tiene importancia en la determinación de los parámetros como límite líquido y límite plástico. Estos parámetros o propiedades del suelo se determinan por el contenido de agua creciente en el suelo. Este comportamiento del suelo explica los parámetros del estado sólido al estado líquido del suelo, a manera que se aumenta una cantidad de agua a la masa de suelo.

La finalidad de su determinación es hacer el uso de estos valores, en la clasificación de los suelos, cualquiera sea el método como SUCS y AASHTO.

Equipos y Materiales

- ◆ Cuchara del profesor Casagrande.

- ◆ Espátula flexible.
- ◆ Taras metálicas.
- ◆ Tamiz de granulometría N°4.
- ◆ Balanza con una precisión de 0.01 gramos.
- ◆ Horno para secado con capacidad de temperatura de $110^{\circ} \pm 5^{\circ}\text{C}$.
- ◆ Recipiente de porcelana.
- ◆ Vidrio esmerilado.
- ◆ Otras herramientas.

Procedimiento

Determinación del límite líquido

- ◆ El límite líquido de un suelo es el grado de humedad que tiene el suelo, siendo su indicador la falla exactamente a los 25 golpes en el ensayo de cuchara del profesor Casagrande.
- ◆ Se selecciona la muestra y secando a una temperatura normal, posteriormente se tamiza haciendo uso del tamiz N°40.
- ◆ Del material pasante se toma un aproximado de 200gramos y se coloca agua, formando una mezcla pastosa y se deja saturar durante un periodo de 24 horas.
- ◆ Graduar la cuchara de Casagrande, con el fin asegurarse de que la altura de caída sea en lo más próximo 10mm.
- ◆ Una vez que se tiene el material saturado, se coloca una porción de la muestra en la cuchara Casagrande, haciendo uso de la espátula. Esta muestra se moldea de manera que el espesor de la misma sea de 10mm en la parte más baja.
- ◆ Se hace una división en la mitad de la muestra moldeada, haciendo uso del ranurador metálico.
- ◆ Se prueba el suelo dando vueltas la manija de la cuchara de Casagrande. Esta vuelta debe darse a razón de dos golpes por segundo. Además, contando el número de golpes que se requiere para taponar la ranura del medio.

- ◆ Extraer la muestra que se encuentra en la zona de falla y determinar el contenido de humedad.
- ◆ Se realiza cuatro pruebas como mínimo, haciendo que la cantidad de golpes requeridos para cerrar la ranura se ubiquen entre los intervalos 15 a 20, 20 a 25, 25 a 30 y 30 a 35. Siendo estos datos para construir la curva de fluidez.
- ◆ El valor del límite líquido se determina cuando el contenido de agua intercepte en la curva de fluidez corresponde a 25 golpes.



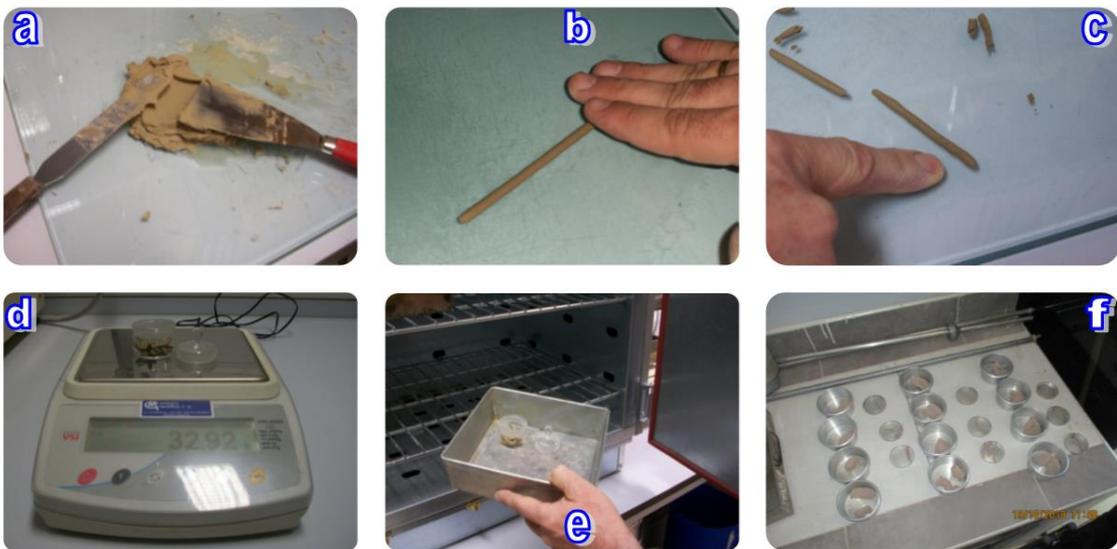
(a): Muestras saturadas tamizadas por la malla #40. / **(b):** colocación de la muestra en la cuchara de Casagrande. / **(c):** determinando la cerradura a un determinado cantidad de golpes. / **(d):** extracción de una porción de la muestra para contenido de humedad. / **(e):** secado de las muestras en horno a 120°C. / **(f):** determinación del peso seco de las muestras.

Figura 49. Procedimiento para el ensayo del límite líquido del suelo

Determinación del Límite plástico

- ◆ Se toma una porción pequeña de muestra saturada del ensayo anterior. Se amasa rodando la muestra del suelo sobre un vidrio esmerilado, hasta que la muestra forme un diámetro de 3mm.
- ◆ La anterior muestra se amasa y se repita varias veces, de tal forma se reduzca el contenido de agua, volviéndose más endurecido.
- ◆ El límite plástico corresponde cuando el cilindro muestra grietas, al ser reducido a un diámetro de 3mm.

- ◊ Inmediatamente experimentado esta fisura, se determina el peso de esta muestra, con el fin de realizar el secado en el horno y determinar el grado de humedad.
- ◊ Medidos los grados de humedad y si se observa que estos no difieren en 1% entre uno y el otro valor, promediamos los resultados. Así de esta forma determinamos el valor de límite plástico.
- ◊ El valor del límite plástico será el promedio de los valores de grado de humedad de las muestras ensayadas.



(a): Muestras amasada del ensayo de LL. / **(b):** amasando cilindros sobre una superficie esmerilada. / **(c):** verificando el diámetro de 3mm y fisuras. / **(d):** determinación del peso húmedo de la muestra. / **(e):** secado de las muestras en horno a 120°C. / **(f):** determinación del peso seco de las muestras.

Figura 50. Procedimiento de ensayo para límite plástico del suelo

Cálculos

Límites Líquido: el valor del límite líquido es el grado de humedad determinada en la curva de fluidez, la cual corresponde a 25 golpes.

Límite Plástico: Será el promedio del grado de humedad obtenido mediante el ensayo, la cual terminándose de la siguiente forma:

$$W\% = \frac{\text{Peso del agua}}{\text{Peso del suelo seco}} * 100 \quad (35)$$

3.6.4.5. ENSAYO DE CBR SOBRE MUESTRAS INALTERADAS EN LABORATORIO

Finalidad y Alcance

El propósito de este ensayo es determinar el índice de resistencia del suelo. También conocido como el “Valor de Soporte California”. El ensayo normalmente se realiza en suelos preparados en laboratorio, y sus principales condiciones como una determinada densidad a un contenido de humedad. Pero también es válido según la Normativa del MTC la práctica del ensayo de CBR sobre muestras inalteradas en campo y trasladadas a laboratorio conservando todas sus características.

El material de préstamo en el cual será aplicado el ensayo de CBR (Capacidad de Soporte California) son los suelos que serán extraídas in situ y trasladados a laboratorio. Tal cual indica la normativa para este tipo de trabajo.

El ensayo de CBR nos ayudará en interpretar los resultados obtenidos. Además, hacer comparación entre los resultados del valor de CBR mediante ensayo de campo con el equipo PDC y los valores reales determinados mediante en ensayo de CBR en laboratorio sobre muestras inalteradas propiamente.

Equipos y Materiales

- ◆ Prensa de CBR para ejercer la penetración del pistón en los especímenes. Con capacidad de 44.5kN (1000lbf) o más a la precisión mínima en la medida debe ser de 44N (10lbf) o menos.
- ◆ Molde de metal con forma cilíndrica de 152.4mm \pm 0.66mm (6 \pm 0.026”) de diámetro interior y de 177.8 \pm 0.46mm (7 \pm 0.018) de altura. Tiene previsto de un collar suplementario de 50.80mm (2”) de altura y una placa base perforada de 9.53mm (3/8”) de espesor.
- ◆ Disco espaciador de metal con forma circular de 150.8mm (5 15/16”) de diámetro exterior y 61.37 \pm 0.127mm (2.416 \pm 0.005”) de espesor.
- ◆ Horno con capacidad de mantener una temperatura constante de 110 \pm 5°C.
- ◆ Taras metálicas para controlar de la humedad.
- ◆ Balanza con capacidades de 20 kilogramos y con 1000 gramos y sensibilidad de 1 gramo y 0.10gramos.

- ◆ Herramientas necesarias.

Procedimiento

- ◆ En la calicata trabajada y excavada para el muestreo respectivo de exploración.
- ◆ Se nivela la superficie y se procede a colocar el molde en el centro del área de trabajo. Previamente al molde se adiciona el anillo cortador o collarín.
- ◆ Se excava suave y uniformemente alrededor del molde o en todo el perímetro. Luego presionándolo para que corte una delgada capa suelo a su alrededor.
- ◆ Se inca el molde en el suelo poco a poco, con la ayuda de algunas herramientas necesarias, hasta hundirlo y llenarlo completamente.
- ◆ Culminada a operación anterior, se retira la muestra cuidando en lo mínimo de que esta sea golpeada, tanto en el proceso de recuperación en el campo como en su transporte y ensayo de laboratorio.
- ◆ Una vez llenado y retirado el molde, se parafina las caras planas y sin golpearlo se traslada al laboratorio. Cuando se vaya a realizar el ensayo se quita la parafina de ambas caras, y con la ayuda de la prensa y el disco espaciador o de un extractor de muestras, se deja un espacio vacío en el molde que equivale al disco espaciador. Se enrasa el molde por el otro extremo.
- ◆ Se determina el peso de la muestra más el molde que contiene para su respectiva determinación de la densidad.
- ◆ Se traslada la muestra preparada a la prensa de CBR para su respectivo ensayo de penetración.
- ◆ Una vez ensayada, se extrae una porción de la muestra de la parte centro del molde para el control del grado de humedad.
- ◆ Se desecha toda la muestra sobrante y se determina el peso del molde sin la muestra.



Figura 51. Procedimiento para el ensayo de CBR sobre muestra inalterada

(a): Tallado de la muestra sobre un área plana para su posterior extracción. (b): Hincado del suelo a extraer. (c): Enrasado de la base del molde para su colocación en la base. (d): embalado y muestra protegida para su traslado. (e): Muestra lista para su traslado. (f): Muestra preparada para su posterior ensayo. (h): Ensayo de CBR en prensa. (g): Muestra después del ensayo de CBR. (i): Determinación del grado de humedad del suelo.

Cálculos

Para determinar la capacidad de Soporte California se hace uso de las siguientes relaciones.

$$CBR = \left[\frac{Carga Unitaria del Ensayo}{Carga Unitaria Patrón} \right] * 100 \quad (36)$$

La carga unitaria del ensayo se determina a una penetración de 0.1” y 0.2”. Además, la carga unitaria patrón está dado por:

Tabla 19
Carga Unitaria patrón para el cálculo del CBR

Penetración		Carga Unitaria Patrón		
mm	Pulgada	Mpa	Kg/cm2	Psi
2.54	0.1	6.90	70.00	1000
5.08	0.2	10.30	105.00	1500

Como forma de ejemplo desarrollaremos el cálculo del valor de CBR (Capacidad de Soporte California).

Tabla 20

Datos registrados del ensayo de CBR sobre muestra Inalterada.

PENETRACIÓN		MOLDE- I			MOLDE- II			MOLDE- III		
(mm)	(Pulg)	CARGA	ESFUERZO	% CBR	CARGA	ESFUERZO	% CBR	CARGA	ESFUERZO	% CBR
0.000	0.000	0	0.00		0	0.00		0	0.00	
0.63= 30s	0.025	7.5	0.38		9.5	0.48		7.5	0.38	
1.27 = 1.0m	0.050	18.5	0.94		17.5	0.89		17	0.87	
1.9= 1.50m	0.075	27.5	1.40		27	1.38		25	1.27	
2.54= 2m	0.100	33	1.68	2.39%	36	1.83	2.61%	32	1.63	2.32%
3.17= 2.5m	0.125	36.5	1.86		44.5	2.27		36.5	1.86	
3.81= 3m	0.150	40	2.04		50.5	2.57		41	2.09	
5.08= 4m	0.200	46	2.34	2.22%	59.5	3.03	2.87%	50	2.55	2.41%
7.62= 6m	0.300	57.5	2.93		75.5	3.85		62	3.16	
10.16= 8m	0.400	67	3.41		89	4.53		69	3.51	

Nota: Datos utilizados del Anexo B-02, C-01

Del cuadro anterior, se genera las gráficas Esfuerzo vs deformación. Para determinar el valor de CBR (Capacidad de Soporte California) a una profundidad de penetración de 0.1” y 0.2”. Cabe precisar que el número de ensayos realizados para cada calicata son de 02 pruebas a excepción de la calicata 01.

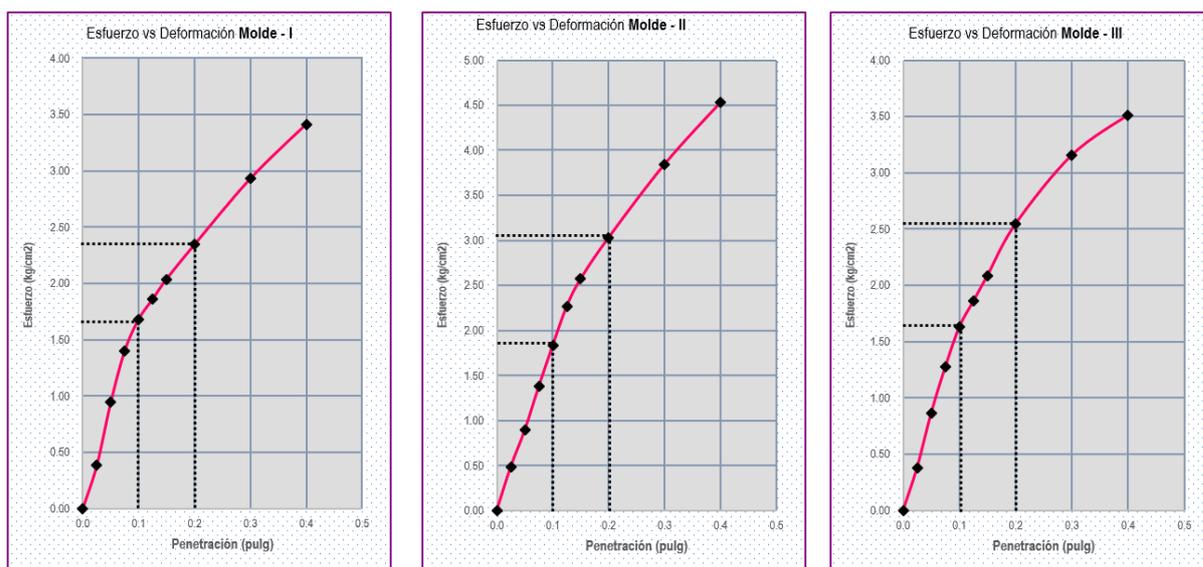


Figura 52. Diagrama de esfuerzo vs deformación para determinar el valor de CBR en muestras inalteradas.

Para el molde 01 el valor de CBR a una penetración de 0.1” se determina de la siguiente forma:

$$CBR = \left[\frac{1.78 \text{ kg / cm}^2}{70.31 \text{ kg / cm}^2} \right] * 100 = 2.39\%$$

Para el molde 01 el valor de CBR a una penetración de 0.2" se determina de la siguiente forma:

$$CBR = \left[\frac{2.34 \text{ kg / cm}^2}{70.31 \text{ kg / cm}^2} \right] * 100 = 2.22\%$$

Este mismo procedimiento se practica para cada molde ensayada y generando un cuadro similar al que se presenta.

Tabla 21

Resultados generados en el ensayo de CBR sobre muestra inalterada.

Molde	Condición de Muestra	Humedad(%W)	Densidad Húmeda (gr/cm3)	Densidad Seca (gr/cm3)	Valor de CBR (0.1")	Valor de CBR (0.2")	CBR PROMEDIO (%)
I	Inalterada	34.08%	1.86	1.385	2.39%	2.22%	2.39%
II	Inalterada	34.08%	1.86	1.384	2.61%	2.87%	2.87%
III	Inalterada	34.08%	1.86	1.384	2.32%	2.41%	2.41%
RESULTADOS:		34.08%	1.86	1.38	2.44%	2.50%	2.50%

El resultado que corresponde a la prueba de CBR es el valor máximo del promedio de los valores determinados a penetración de 0.1" y 0.2".

- ◆ **Valor promedio a 0.1" = 2.44%**
- ◆ **Valor promedio a 0.2" = 2.50%** ⇨ *Le corresponde al ensayo respectivo.*

3.6.4.6. ENSAYO DE CBR SOBRE MUESTRAS REMOLDEADAS EN LABORATORIO

Finalidad y Alcance

La finalidad de este ensayo es similar y/o igual a lo anterior. Determinar el índice de CBR para el suelo, pero mediante un proceso diferente. Este ensayo ha sido practicado a los suelos que han sido imposibles extraer en forma inalterada, quiere decir suelos arenosos con presencia de limos según la clasificación obtenida.

El valor de CBR del suelo, se conoce al valor obtenida a una densidad y humedad del suelo natural, la cual ha sido obtenida mediante moldes con sus secciones

conocidas. Entonces lo que se practica es el ensayo de Proctor con la humedad natural del suelo, compactándola a 12, 25 y 56 golpes del cual se determina sus respectivas densidades siendo en su estado más suelto y compacto. Dentro de estos parámetros debe de encontrarse la densidad natural del suelo, entonces mediante la presentación de una gráfica CBR vs Densidad se determina a lo que le corresponde el valor de CBR.

Equipos y Materiales

- ◆ Prensa de CBR para ejercer la penetración del pistón en los especímenes. Con capacidad de 44.5kN (1000lbf) o más a la precisión mínima en la medida debe ser de 44N (10lbf) o menos.
- ◆ Molde de metal cilíndrico de 152.4mm \pm 0.66mm (6 \pm 0.026") de diámetro interior y de 177.8 \pm 0.46mm (7 \pm 0.018) de altura. Tiene previsto de un collar suplementario de 50.80mm (2") de altura y una placa base perforada de 9.53mm (3/8") de espesor.
- ◆ Disco espaciador de metal con forma circular de 150.8mm (5 15/16") de diámetro exterior y de 61.37 \pm 0.127mm (2.416 \pm 0.005") de espesor.
- ◆ Martillo de compactación con una masa de 2.495 +/- 0.023kg.
- ◆ Horno capaz de mantener una temperatura constante de 110 \pm 5°C.
- ◆ Taras metálicas para control de la humedad.
- ◆ Balanza con capacidades de 20 kilogramos y con 1000 gramos y precisión de 1 gramo y 0.10gramos.
- ◆ Herramientas necesarias.

Procedimiento

- ◆ Se pesa una porción de muestra de suelo de 5kg aprox. Y se coloca en bandejas separadas.
- ◆ Se determina la cantidad de agua según el porcentaje de humedad del suelo, midiendo en gramos o milímetros para cada porción de suelo por espécimen. Quiere decir el porcentaje %X de 5000gr.
- ◆ Se suministra el agua en las muestras colocadas en bandeja y se procede a mezclar hasta alcanzar una muestra consistente.

- ◊ Se determinada las dimensiones y características incluido el peso del molde de preparación de muestra solo con la base sin el collarín. Y adicionalmente se coloca el collarín en el proceso de compactado.
- ◊ Se coloca la primera capa de muestra preparada y se compacta para el primer espécimen con 25 golpes por capa.
- ◊ Para cada una de las pruebas, en este caso 3 pruebas compactadas en 12, 25 y 56 goles cada una de 5 capas.
- ◊ Culminada este trabajo, se limpia los exteriores del molde, se extrae el collarín y se enraza a nivel del molde. Se voltea el espécimen y finalmente se determina el peso del molde más la muestra compactada.
- ◊ Se lleva a la prensa de CBR para su posterior ensayo de penetración, tomando lectura de carga a cada 0.025, 0.05, 0.075, 0.1, 0.125, 0.150, 0.175, 0.2, 0.3, 0.4. Este ensayo debe de realizarse a una velocidad de 1.27mm por minuto.
- ◊ Culminada el ensayo, se desecha la muestra extrayendo una porción de muestra del núcleo del molde para controlar el grado de humedad del suelo.



(a): Pesado de muestra a preparar de 5kg. / **(b):** determinación y mezclado de cantidad de agua según humedad con la muestra. / **(c):** compactación de la muestra en moldes de Proctor modificado. / **(d):** Muestra lista para su ensayo. / **(e):** ensayo de penetración en la prensa de CBR. / **(f):** determinación del grado de humedad del suelo a las muestras ensayadas.

Figura 53. Procedimiento de ensayo de CBR sobre muestra remoldada.

Cálculos

Los cálculos se realizan tal cual, para el ensayo sobre muestras alteradas, con la diferencia de que se muestra una gráfica de CBR vs Densidad y a la densidad natural del suelo, se determina el porcentaje de CBR correspondiente.

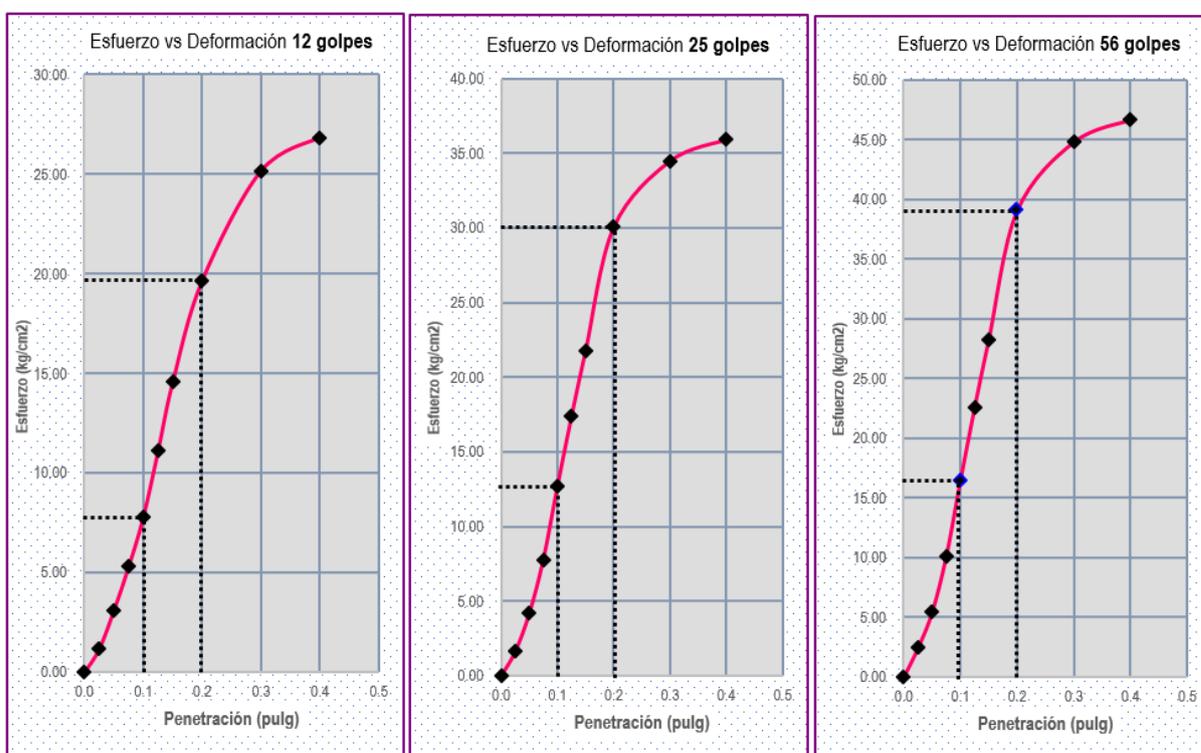


Figura 54. Diagrama de esfuerzo vs deformación para determinar el valor de CBR en muestras remoldadas.

Para ello también se debe general el cuadro siguiente. Ejemplo tomado para la calicata 09-2.

Tabla 22

Resultados generados en el ensayo de CBR sobre muestra remoldada.

Molde	Condición de Muestra	Humedad (%W)	Densidad Húmeda (gr/cm ³)	Densidad Seca (gr/cm ³)	Valor de CBR (0.1")	Valor de CBR (0.2")	CBR PROMEDIO (%)
I	Remoldeada	9.37%	1.63	1.491	11.08%	18.64%	18.64%
II	Remoldeada	9.26%	1.68	1.535	18.04%	28.49%	28.49%
III	Remoldeada	9.58%	1.74	1.588	23.45%	37.04%	37.04%
RESULTADOS:		9.40%	1.68	1.54	17.52%	28.06%	28.06%

En este caso el resultado prima en función a la densidad del suelo, tomando en cuenta de que el suelo debe de estar en su estado más compacto y más suelto, entonces el valor de CBR que le corresponde sería entre esta tendencia, quiere decir la densidad natural del

suelo debe ubicarse entre estos parámetros máximo y mínimo como se presenta en la gráfica.

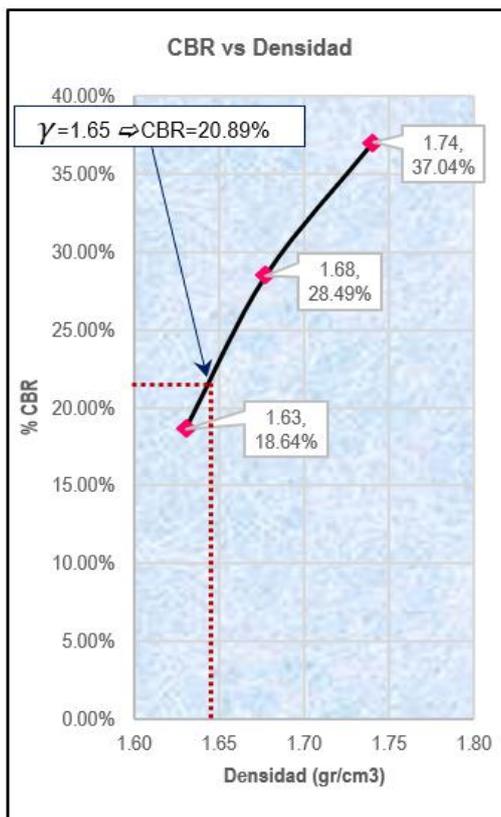


Figura 55. Diagrama de Densidad vs CBR sobre muestras remoldeadas.

3.7. HIPÓTESIS

3.7.1. HIPÓTESIS GENERAL

- ◆ La expresión matemática de la ecuación de correlación entre el PDC (Penetración Dinámica de Cono) y CBR (Capacidad de soporte California) regido por la normativa ASTM D 6951, será calibrada bajo efectos de humedad en suelos a nivel de la subrasante aplicado en la vía Juliaca – Caracoto.

3.7.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICOS

- ◆ Será posible determinar la ecuación de correlación entre el ensayo de PDC en campo y CBR en laboratorio sobre muestra inalterada, para los suelos existentes a nivel de la subrasante en la vía Juliaca - Caracoto.
- ◆ No existe variabilidad de los resultados entre el ensayo convencional CBR de laboratorio sobre muestras inalteradas, y el método indirecto PDC.

- ◆ Será posible calibrar la ecuación de correlación ASTM D 6951, con parámetros de Índice de CBR (Capacidad de Soporte California), PDC (Penetración Dinámica de Cono) y %W (grado de humedad del suelo).

3.8. MÉTODO ESTADÍSTICO

3.8.1. SOFTWARE SPSS PARA EL ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El Software SPSS se utiliza para realizar análisis cuantitativo y se utiliza como un instrumento para dar facilidad al procesamiento de la información correspondiente.

En la presente investigación se hará uso de ese software para el análisis de regresión lineal múltiple, mediante mínimos cuadrados ordinarios.

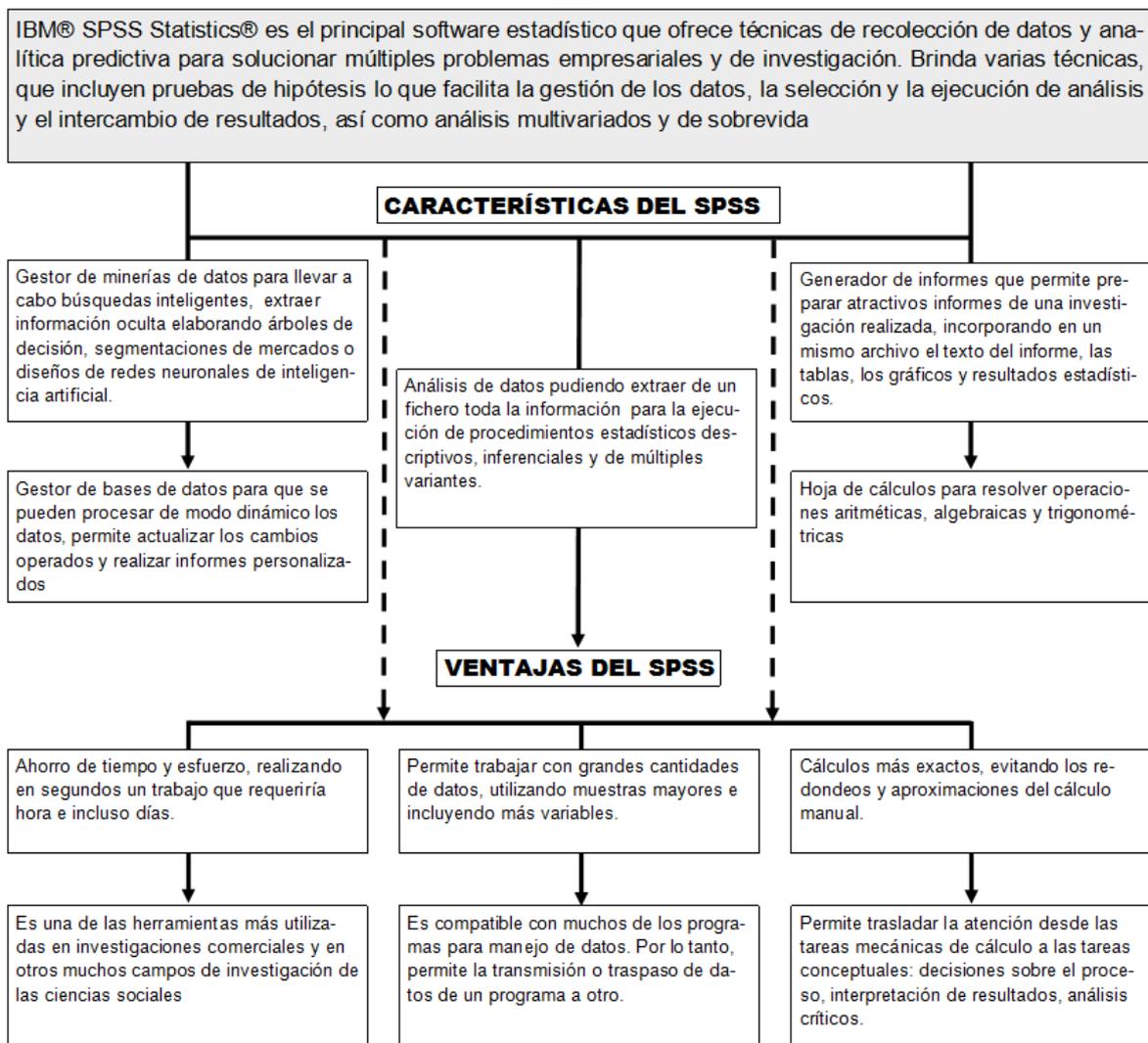


Figura 56. Facilidades que entrega el Software SPSS

En la figura 57 se observa una toma instantánea del procesamiento de los datos, llegando a los resultados de interés las cuales se interpretan en la parte final.

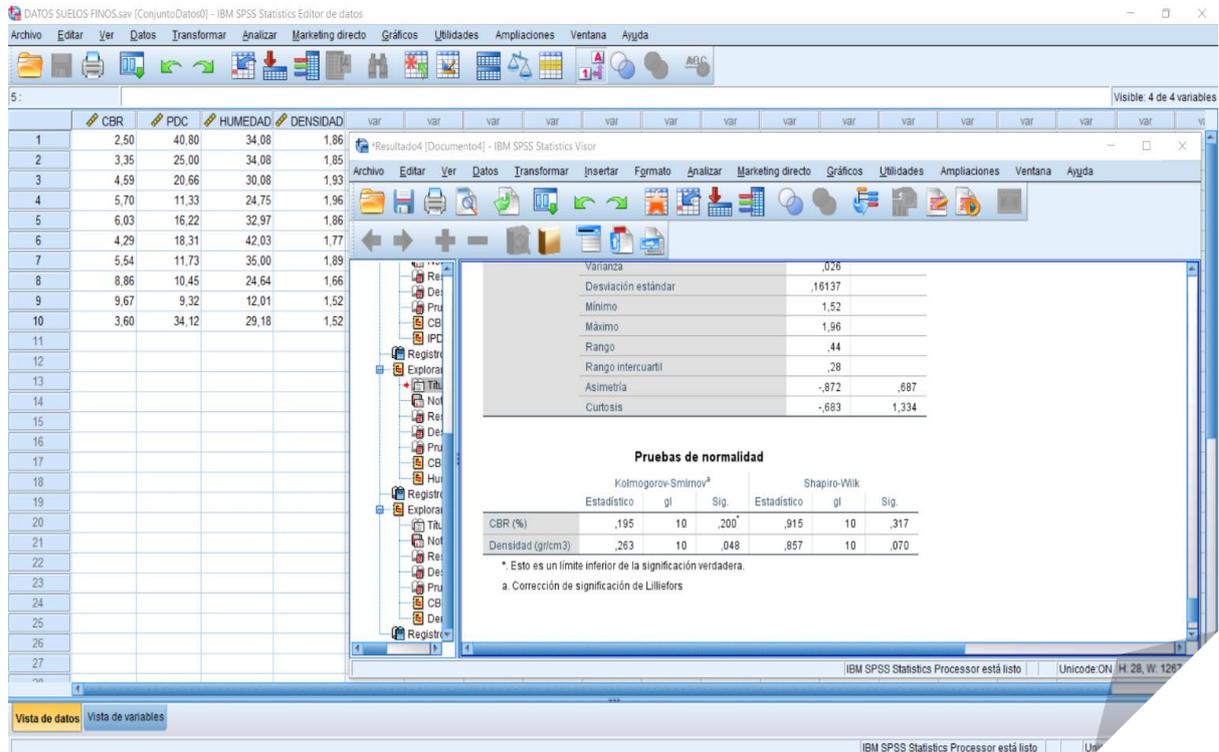


Figura 57. Ventana de trabajo del Software SPSS Statistics 24.

3.8.2. PRUEBAS DE NORMALIDAD

3.8.2.1. PRUEBAS DE NORMALIDAD PARA EL GRUPO DE SUELOS FINOS

Primero probaremos que, si los resultados observados tienen una distribución normal, para ello fijamos las siguientes afirmaciones o pruebas:

- ◆ Ho: Los datos observados de las variables siguen una distribución normal.
- ◆ H1: Los datos observados de las variables NO siguen una distribución normal.

Si el P-Valor o Sig. es < que 0.01, se Rechaza "Ho"

Si el P-Valor o Sig. es > que 0.01, se Acepta "Ho"

Ya que el grupo de datos es menor a 50, entonces probamos con los resultados de autoría "SHAPIRO WILK". Los resultados obtenidos a las cuales someteremos a prueba de normalidad en suelos finos son las siguientes:

Tabla 23

Resultados observados para la prueba de normalidad en suelos finos

RESULTADOS OBSERVADOS PARA SUELOS FINOS						
Calicata	Capacidad de Soporte California CBR (%)	índice de PDC (mm/golp)	Porcentaje de humedad %W	Densidad del suelo (gr/cm3)	Tipo de suelo SUCS	Clasificación AASHTO
1	2.50	40.80	34.08	1.86	ML	A-4(8)
1--2	3.35	25.00	34.08	1.85	ML	A-4(8)
2	4.59	20.66	30.08	1.93	ML	A-4(8)
3	5.70	11.33	24.75	1.96	CL	A-4 (7)
4	6.03	16.22	32.97	1.86	ML	A-4 (5)
5	4.29	18.31	42.03	1.77	MH	A-7-5 (18)
6	5.54	11.73	35.00	1.89	ML	A-4 (8)
7	8.86	10.45	24.64	1.66	ML	A-4 (3)
9	9.67	9.32	12.01	1.52	ML	A-4 (8)
16	3.60	34.12	29.18	1.52	ML	A-4 (8)

Nota: 1--2 Se ha realizado dos estudios de CBR inalterado

3.8.2.1.1. *PRUEBA DE NORMALIDAD ENTRE EL CBR y PDC EN SUELOS FINOS*

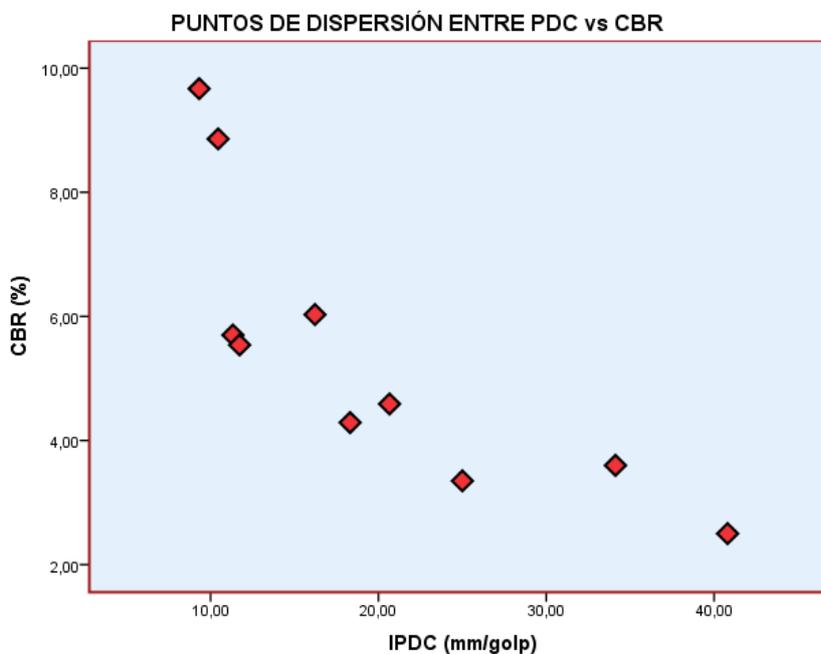


Figura 58. Puntos de dispersión para prueba de normalidad entre CBR y PDC

3.8.2.1.2. *PRUEBAS DE NORMALIDAD ENTRE EL CBR y HUMEDAD EN SUELOS FINOS*

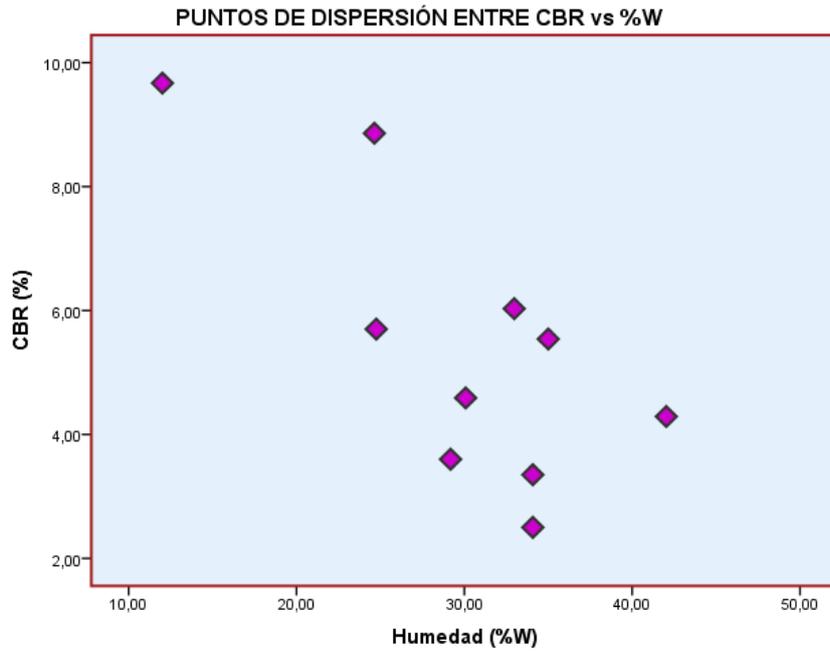


Figura 59. Puntos de dispersión para prueba de normalidad entre el CBR y humedad

3.8.2.1.3. *PRUEBA DE NORMALIDAD ENTRE EL CBR y DENSIDAD PARA SUELOS FINOS*

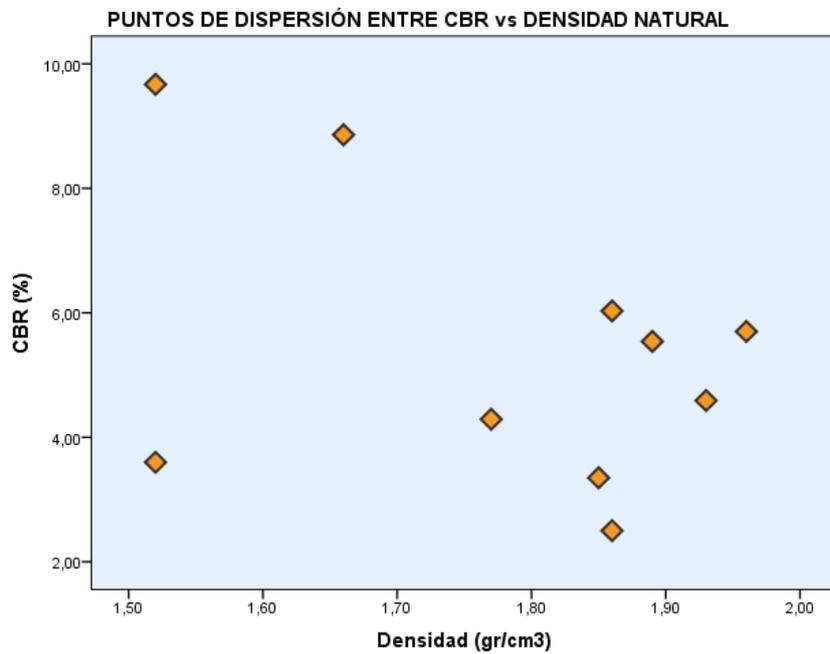


Figura 60. Puntos de dispersión para pruebas de normalidad entre CBR y Densidad natural.

Finalmente se tiene las normalidades probadas en entre cada una de las variables independiente (Ipdc, %W y adicionalmente γ_s) con respecto al valor dependiente CBR.

Tabla 24*Resumen de pruebas de normalidad para suelos finos*

PRUEBA DE NORMALIDAD PARA SUELOS FINOS				
Variables	Shapiro Wilk			
	Estadístico	gl	Significancia	Condición
CBR (%)	0.915	10	0.317 > 0.01	D.Normal
IPDC (mm/golp)	0.877	10	0.121 > 0.01	D.Normal
Humedad (%)	0.920	10	0.36 > 0.01	D.Normal
Densidad (gr/cm ³)	0.857	10	0.07 > 0.01	D.Normal

Nota: Por recomendaciones de diferentes autorías, cuando el grupo de datos es menor a 50, entonces obedecemos al estadista Shapiro Wilk.

Para el grupo de datos que corresponden a suelos finos, el cuadro explica acerca de la normalidad de los grupos de datos, tomando como criterio las dos hipótesis de Ho y H1. La cual se interpreta de la siguiente forma: El valor de la significancia "Sig" todos son superiores al 0.01, entonces se dice que el conjunto de datos agrupados cada uno por diferentes variables siguen una distribución normal.

3.8.2.2. PRUEBA DE NORMALIDAD PARA EL GRUPO DE SUELOS ARENOSOS

Los resultados observados a las cuales someteremos a prueba de normalidad en suelos arenosos son las siguientes.

Tabla 25*Resultados observados para la prueba de normalidad en suelos arenosos*

RESULTADOS OBSERVADOS PARA SUELOS ARENOSOS						
Calicata	Capacidad de Soporte California CBR (%)	índice de PDC (mm/golp)	Porcentaje de humedad %W	Densidad del suelo (gr/cm ³)	Tipo de suelo SUCS	Clasificación AASHTO
7--2	33.27	7.88	13.55	2.05	SW	A-3 (0)
8	8.45	20.2	15.69	1.65	SP	A-3 (0)
9--2	20.89	10.14	9.35	1.64	SP	A-3 (0)
10	16.67	10.25	9.08	1.64	SP	A-3 (0)
11	13.88	11.58	12.23	1.55	SP	A-3 (0)
12	9.82	27.67	7.11	1.58	SP	A-3 (0)
13	27.04	7.82	13.69	1.87	SP	A-3 (0)
14	13.28	14.19	9.08	1.64	SP	A-3 (0)
15	9.5	17.44	11.22	1.70	SP	A-3 (0)
16--2	11.57	15.24	22.78	1.74	SP	A-3 (0)

Nota: 7--2, 9--2, 16--2

Se ha realizado CBR remoldeado en la misma calicata del grupo anterior

3.8.2.2.1. *PRUEBA DE NORMALIDAD ENTRE CBR y PDC EN SUELOS ARENOSOS*

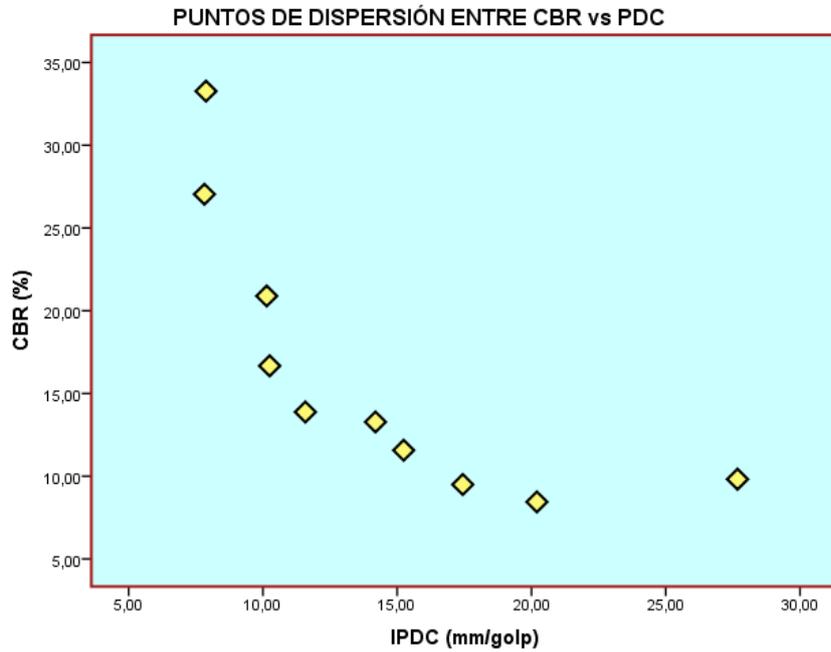


Figura 61. Puntos de dispersión para pruebas de normalidad entre CBR y PDC en suelos arenosos.

3.8.2.2.2. *PRUEBA DE NORMALIDAD ENTRE CBR y HUMEDAD EN SUELOS ARENOSOS*

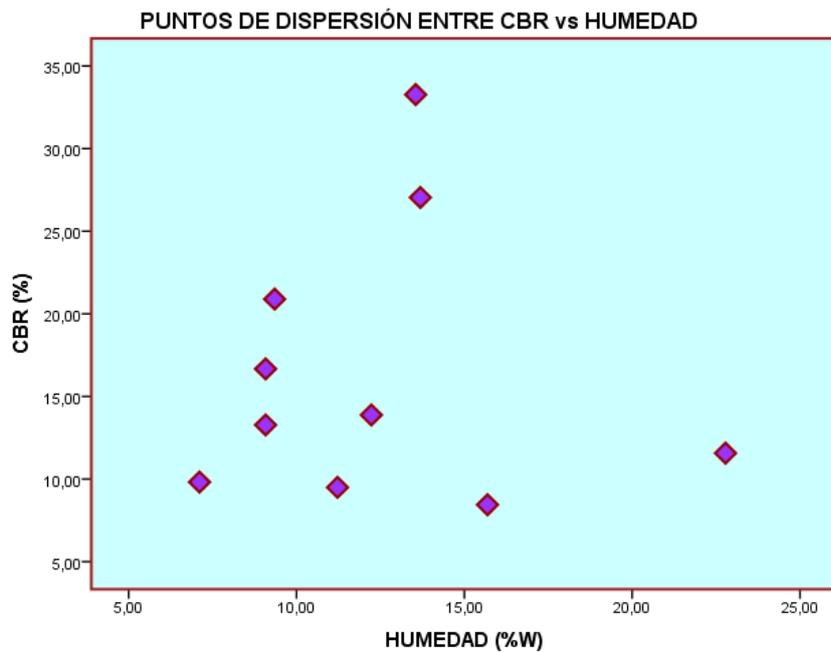


Figura 62. Puntos de dispersión para pruebas de normalidad entre el CBR y Humedad en suelos arenosos.

3.8.2.2.3. PRUEBA DE NORMALIDAD ENTRE CBR y DENSIDAD EN SUELOS ARENOSOS

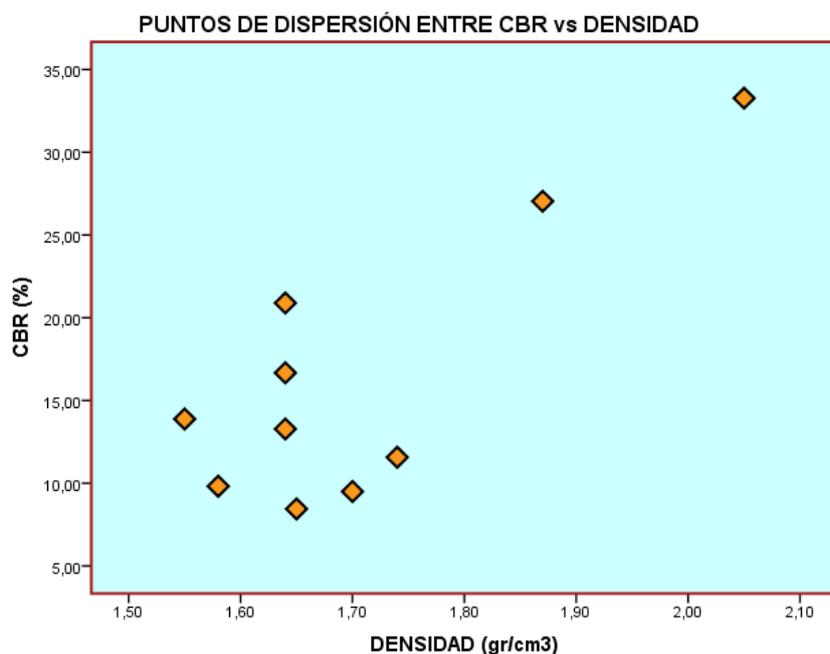


Figura 63. Puntos de dispersión para prueba de normalidad entre el CBR y densidad natural en suelos arenosos.

Tabla 26

Resumen de pruebas de normalidad para suelos arenosos

PRUEBA DE NORMALIDAD PARA SUELOS ARENOSOS				
Variables	Shapiro Wilk			
	Estadístico	gl	Significancia	Condición
CBR (%)	0.867	10	0.093 > 0.01	D.Normal
IPDC (mm/golp)	0.901	10	0.225 > 0.01	D.Normal
Humedad (%)	0.886	10	0.153 > 0.01	D.Normal
Densidad (gr/cm ³)	0.835	10	0.038 > 0.01	D.Normal

Para el grupo de datos que corresponden a suelos arenosos, el cuadro explica acerca de la normalidad de los grupos de datos, tomando como criterio las dos hipótesis de Ho y H1. La cual se interpreta de la siguiente forma: El valor de la significancia “Sig” todos son superiores al 0.01, entonces se dice que el conjunto de datos agrupados cada uno por diferentes variables siguen una Distribución normal.

3.8.3. ANÁLISIS DE REGRESIÓN LINEAL MÚLTIPLE PARA SUELOS FINOS

Ya que en se tiene un conjunto de datos las cuales se diferencian en dos grupos de suelos finos considerados (Suelos limosos y arcillosos) y suelos arenosos (Arena bien

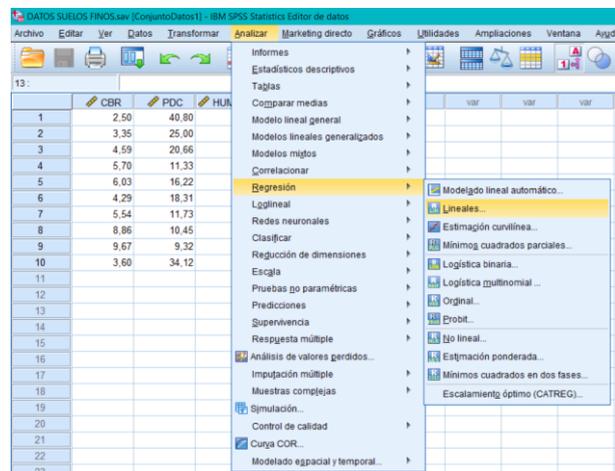
graduada y mal graduada). Entonces primero analizaremos el primer grupo de la siguiente forma:

3.8.3.1. **REGRESIÓN LINEAL MÚLTIPLE ENTRE EL CBR, PDC y HUMEDAD %W**

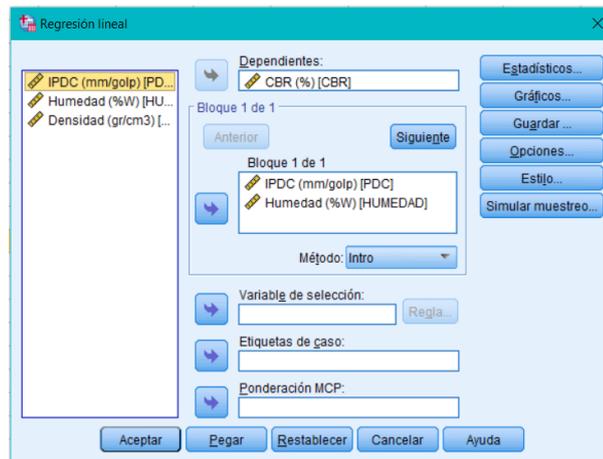
- a) Identificamos el conjunto de datos que se requiere analizar, en este caso CRB, como variable dependiente, IPDC y Humedad como variables independientes.

	CBR	PDC	HUMEDAD	DENSIDAD
1	2,50	40,80	34,08	1,86
2	3,35	25,00	34,08	1,85
3	4,59	20,66	30,08	1,93
4	5,70	11,33	24,75	1,96
5	6,03	16,22	32,97	1,86
6	4,29	18,31	42,03	1,77
7	5,54	11,73	35,00	1,89
8	8,86	10,45	24,64	1,66
9	9,67	9,32	12,01	1,52
10	3,60	34,12	29,18	1,52

- b) Nos dirigimos a la pestaña analizar ⇒ Regresión y Lineales.



- c) Trasladamos la variable Dependiente CBR al casillero que le corresponde, de igual forma el IPDC y Humedad al bloque 1 de 1 como se muestra.



Culminado todo este procedimiento el Software nos brinda la siguiente información.

Tabla 27

Resumen del modelo de regresión para suelos finos.

RESUMEN DEL MODELO				
Modelo	R	R Cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de estimación
1	0.930	0.865	0.827	0.96568

Coefficiente de Pearson “R” y “R²” para suelos finos. Variable dependiente: (CBR), Variables Independientes (Índice de PDC y Humedad %W).

Análisis de los estadísticos encontrados 1:

“R” representa el coeficiente de correlación múltiple o coeficiente de correlación de Pearson que viene a ser 0.93 la cual nos expresa que existe un **GRADO DE CORRELACIÓN MUY ALTA** entre las variables CBR, PDC y %W.

“R²” es la bondad de ajuste la cual expresa la proporción de varianza de la variable dependiente que está explicada por las variables independientes, conocido también como el Coeficiente de determinación. En este caso muestra que el 86.5% del valor de CBR es explicada por el índice de PDC y %W.

Tabla 28*Resumen de prueba de significancia ANOVA para suelos finos*

PRUEBA DE SIGNIFICACIÓN "ANOVA"						
Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	41.922	2	20.961	22.478	0.001
	Residuo	6.528	7	0.933		
	Total	48.45	9			

Variable dependiente: (CBR), Variables Independientes (Índice de PDC y Humedad %W)

Análisis de los estadísticos encontrados 2:

En el cuadro nos muestra si existe o no relación entre las variables, dicho de otra forma, que si las variables están linealmente relacionadas.

El valor "**p**" = **0.001** < **0.05**, entonces rechazamos la hipótesis nula y aceptamos que las variables están linealmente relacionadas.

Tabla 29*Resumen de coeficientes del modelo de regresión lineal múltiple para suelos finos*

COEFICIENTES DEL MODELO DE REGRESIÓN MULTIPLE						
Modelo		B	Error estándar	Coeficientes estandarizados	t	Sig.
1	Constante	12.345	1.232		10.019	0
	IPDC (mm/golp)	-0.132	0.033	-0.605	-3.999	0.005
	Humedad (%W)	-0.145	0.043	-0.506	-3.349	0.012

Variable dependiente: (CBR), Variables Independientes (Índice de PDC y Humedad %W)

Análisis de los estadísticos encontrados 3:

En el cuadro se muestra los coeficientes del modelo de regresión múltiple y su respectiva significancia de cada uno de los parámetros.

El criterio a tomar es la siguiente: Si "**p**" o "**Sig**" < 0.05 entonces este parámetro influye significativamente en la determinación de la capacidad de soporte CBR.

Si "**p**" o "**Sig**" > 0.05 entonces este parámetro NO influye significativamente en la determinación de la capacidad de soporte CBR.

Índice de PDC : $p = 0.005 < 0.05 \Rightarrow$ *Influyen significativamente*

Humedad %W : $p = 0.012 < 0.05 \Rightarrow$ *Influyen significativamente*

Finalmente, la expresión matemática entre el CBR, IPDC y el grado de humedad (%W) sería de la siguiente forma:

$$CBR = 12.35 - 0.13Ipdc - 0.15\%W \quad (37)$$

Donde:

CBR : Capacidad de soporte california \Leftrightarrow (%)

Ipdc : Índice de Penetración Dinámica de Cono \Leftrightarrow (mm/golp)

%W : Contenido de humedad del suelo \Leftrightarrow (%)

De igual forma se muestra la gráfica de regresión lineal múltiple para las variables CBR, Índice de PDC y Humedad con su respectiva superficie de respuesta para suelos finos queda de la siguiente forma.

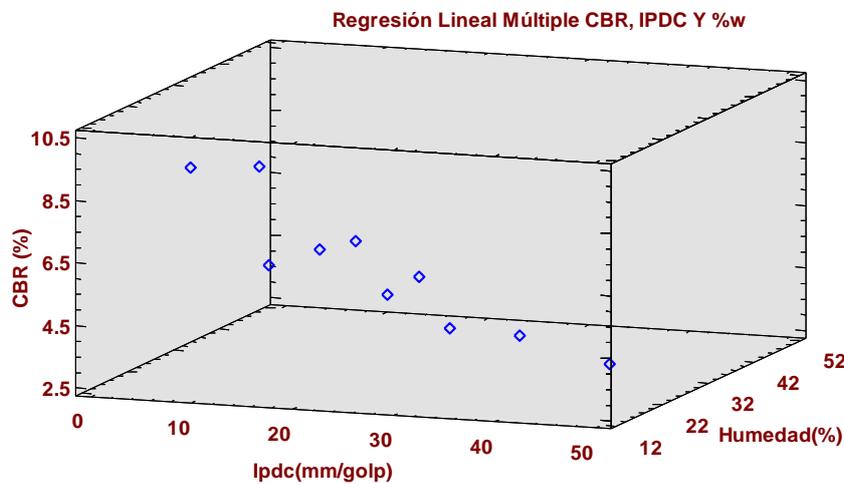


Figura 64. Regresión Lineal Múltiple CBR, Ipdc y %W para suelos finos

La gráfica de superficie de respuesta muestra una forma más fácil de interpretar y estimar tentativamente los resultados de la variable dependiente en función del comportamiento de las variables dependientes regresores.

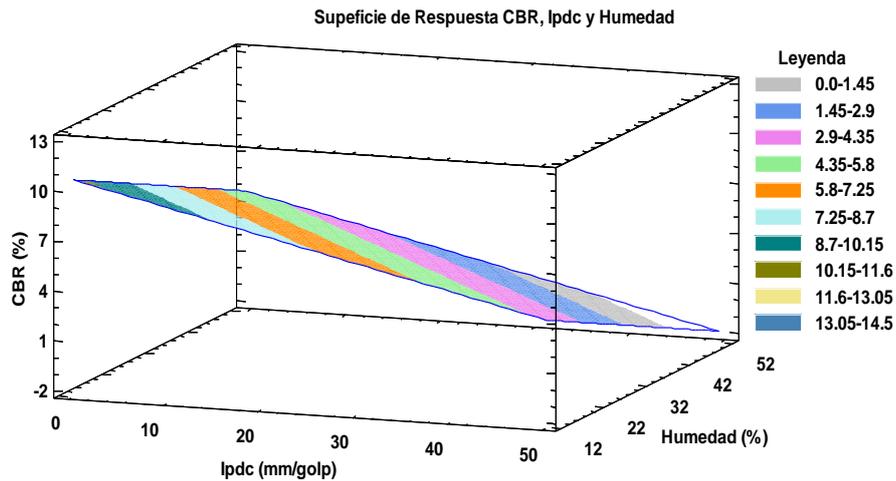


Figura 65. Superficie de respuesta CBR, Ipdc y %W para suelos finos

Teniendo resultados observados y medidos de la densidad natural del suelo (γ_s). podemos hacer uso adicional para verificar el comportamiento que tiene cuando se asocia con las otras variables. Quiere decir analizaremos y veremos el grado de correlación que mantiene en la determinación de la Capacidad de Soporte California (CBR) en función del Índice de (Ipdc), el grado de Humedad (%W) y la densidad natural del suelo (γ_s) conjuntamente asociados como se muestra.

3.8.3.2. **REGRESIÓN LINEAL MÚLTIPLE ENTRE CBR, IPDC; HUMEDAD %W y DENSIDAD**

- a) Identificamos el conjunto de datos que se requiere analizar, en este caso CRB, como variable dependiente, IPDC, Humedad y Densidad como variables independientes.

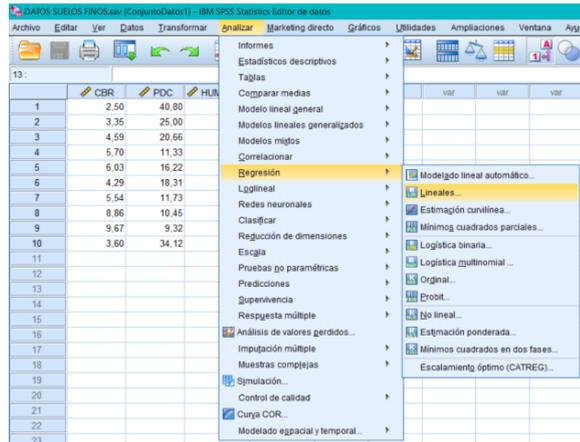
DATOS SUELOS FINOS.sav [ConjuntoDatos] - IBM SPSS Statistics Editor de d

Archivo Editar Ver Datos Transformar Analizar Marketing di

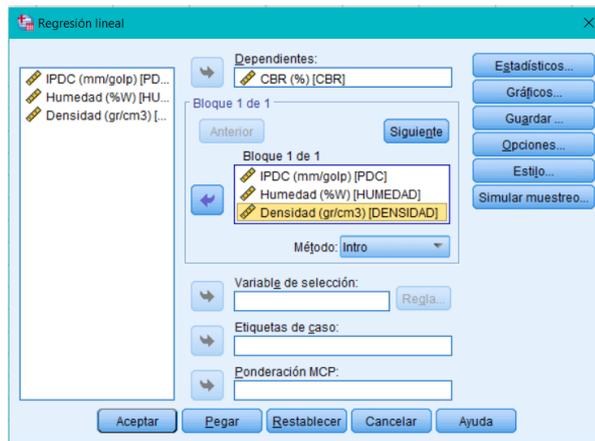
1 : CBR 2,50

	CBR	PDC	HUMEDAD	DENSIDAD
1	2,50	40,80	34,08	1,86
2	3,35	25,00	34,08	1,85
3	4,59	20,66	30,08	1,93
4	5,70	11,33	24,75	1,96
5	6,03	16,22	32,97	1,86
6	4,29	18,31	42,03	1,77
7	5,54	11,73	35,00	1,89
8	8,86	10,45	24,64	1,66
9	9,67	9,32	12,01	1,52
10	3,60	34,12	29,18	1,52

- b) Nos dirigimos a la pestaña analizar ⇔ Regresión y Lineales.



c) Trasladamos la variable Dependiente CBR al casillero que le corresponde, de igual forma el IPDC, Humedad y Densidad al bloque 1 de 1 como se muestra.



Culminado todo este procedimiento el SOFTWARE nos brinda la siguiente información.

Tabla 30

Resumen del modelo de regresión para suelos finos.

RESUMEN DEL MODELO				
Modelo	R	R Cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de estimación
1	0.956	0.915	0.872	0.83008

Variable dependiente: (CBR), Variables Independientes (Índice de PDC, Humedad %W y Densidad)

Análisis de los estadísticos encontrados 1:

“**R**” representa el coeficiente de correlación múltiple o coeficiente de correlación de Pearson que viene a ser 0.956 la cual nos expresa que existe un **GRADO DE CORRELACIÓN MUY ALTA** entre las variables CBR, PDC, %W y Densidad.

“R²” es la bondad de ajuste la cual expresa la proporción de varianza de la variable dependiente que está explicada por las variables independientes, conocido también como el Coeficiente de determinación. En este caso muestra que el 91.50% del valor de CBR es explicada por el índice de PDC, %W y Densidad natural.

Tabla 31

Resumen de prueba de significancia ANOVA para suelos finos.

PRUEBA DE SIGNIFICACIÓN "ANOVA"						
Modelo	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.	
1	Regresión	44.316	3	14.772	21.439	0.001
	Residuo	4.134	6	0.689		
	Total	48.45	9			

Variable dependiente: (CBR), Variables Independientes (Índice de PDC, Humedad %W y Densidad)

Análisis de los estadísticos encontrados 2:

En el cuadro nos muestra si existe o no relación entre las variables, dicho de otra forma, que si las variables están linealmente relacionadas.

El valor “p” = **0.001 < 0.05**, entonces rechazamos la hipótesis nula y aceptamos que las variables están linealmente relacionadas.

Tabla 32

Resumen de coeficientes del modelo de regresión múltiple para suelos finos

COEFICIENTES DEL MODELO DE REGRESIÓN MÚLTIPLE						
Modelo	B	Error estándar	Coefficientes estandarizados (Beta)	t	Sig.	
1	Constante	18.118	3.273	5.535	0.001	
	IPDC (mm/golp)	-0.147	0.029	-0.676	-4.988	0.002
	Humedad (%W)	-0.099	0.045	-0.345	-2.206	0.070
	Densidad (gr/cm ³)	-3.843	2.062	-0.267	-1.864	0.112

Variable dependiente: (CBR), Variables Independientes (Índice de PDC, Humedad %W y Densidad)

Análisis de los estadísticos encontrados 3:

En el cuadro se muestra los coeficientes del modelo de regresión múltiple y su respectiva significancia de cada uno de los parámetros.

El criterio a tomar es la siguiente: Si “p” o “Sig” < 0.05 entonces este parámetro influye significativamente en la determinación de la capacidad de soporte CBR.

Si “p” o “Sig” > 0.05 entonces este parámetro NO influye significativamente en la determinación de la capacidad de soporte CBR.

Índice de PDC : $p = 0.002 < 0.05 \Rightarrow$ *Influyen significativamente*

Humedad %W : $p = 0.070 > 0.05 \Rightarrow$ *No Influyen significativamente*

Densidad γ : $p = 0.112 > 0.05 \Rightarrow$ *No Influyen significativamente*

Finalmente, la expresión matemática entre el CBR, IPDC, el grado de humedad (%W) y la densidad del suelo queda establecida de la siguiente forma:

$$CBR = 18.12 - 0.15Ipdc - 0.10\%W - 3.84\gamma_s \quad (38)$$

Donde:

CBR : Capacidad de soporte california \Rightarrow (%)

Ipdc : índice de Penetración Dinámica de Cono \Rightarrow (mm/golp)

%W : Contenido de humedad del suelo \Rightarrow (%)

γ_s : Densidad natural del suelo \Rightarrow (gr/cm3)

Como se observa en los análisis anteriores cuando la densidad natural del suelo se asocia con el Índice de Penetración Dinámica de Cono (Ipdc) y el grado de humedad del suelo (%W), ofrece mayor explicación a la fórmula de correlación. Esto es precisado con el mayor grado del coeficiente de correlación y la bondad de ajuste que muestra dicha asociación.

Finalmente, la regresión lineal múltiple entre el CBR, Índice de PDC, Humedad y densidad para suelos finos queda de la siguiente forma.

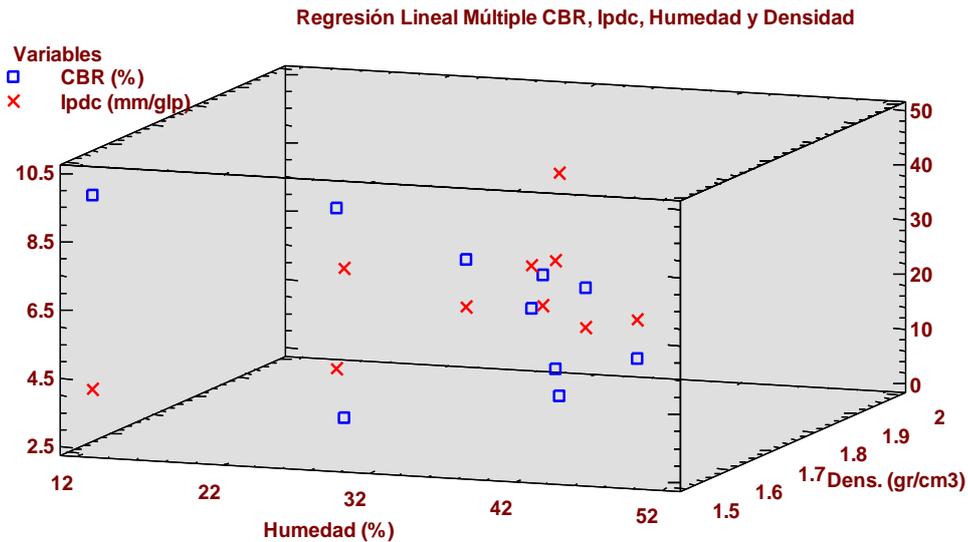


Figura 66. Regresión Lineal Múltiple CBR, Ipdc; Humedad y Densidad en suelos finos.

3.8.4. ANÁLISIS DE REGRESIÓN LINEAL MÚLTIPLE PARA SUELOS ARENOSOS

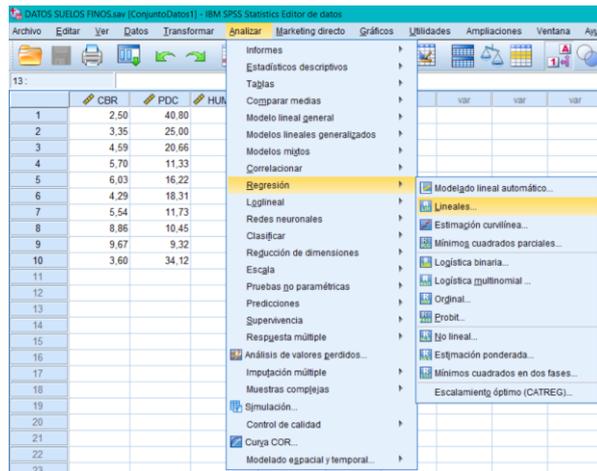
En esta sección pasaremos a analizar el conjunto de datos, a los suelos arenosos. Para tal caso se coloca en prueba los datos de la tabla 25 utilizados para la prueba de normalidad.

3.8.4.1. REGRESIÓN LINEAL MÚLTIPLE ENTRE CBR, IPDC y HUMEDAD %W

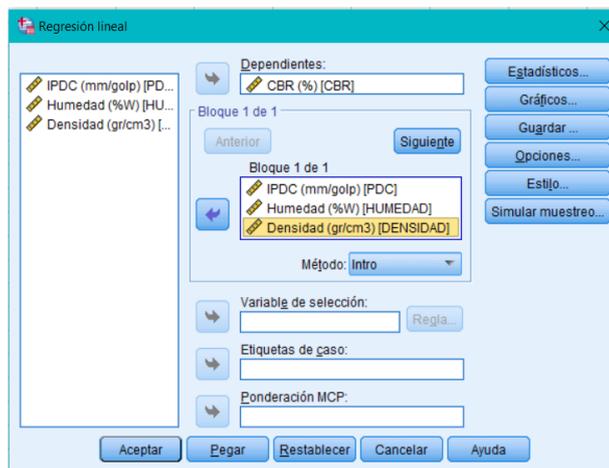
- a) Identificamos el conjunto de datos que se requiere analizar, en este caso CRB, como variable dependiente, IPDC y Humedad como variables independientes.

	CBR	IPDC	HUMEDAD	DENSIDAD
1	33,27	7,88	13,55	2,05
2	8,45	20,20	15,69	1,65
3	20,89	10,14	9,35	1,64
4	16,67	10,25	9,08	1,64
5	13,88	11,58	12,23	1,55
6	9,82	27,67	7,11	1,58
7	27,04	7,82	13,69	1,87
8	13,28	14,19	9,08	1,64
9	9,50	17,44	11,22	1,70
10	11,57	15,24	22,78	1,74

- b) Nos dirigimos a la pestaña analizar ⇒ Regresión y Lineales.



c) Trasladamos la variable Dependiente CBR al casillero que le corresponde, de igual forma el IPDC y Humedad al bloque 1 de 1 como se muestra.



Culminado todo este procedimiento el Software SPSS nos brinda la siguiente información.

Tabla 33
Resumen del modelo de regresión para suelos arenosos.

RESUMEN DEL MODELO				
Modelo	R	R Cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de estimación
1	0.769	0.591	0.474	5.97805

Coefficiente de Pearson "R" y "R²" para suelos finos. Variable dependiente: (CBR), Variables Independientes (Índice de PDC y Humedad %W).

Análisis de los estadísticos encontrados 1:

“R” representa el coeficiente de correlación múltiple o coeficiente de correlación de Pearson que viene a ser 0.769 la cual nos expresa que existe un **GRADO DE CORRELACIÓN ALTA** entre las variables CBR, PDC y %W.

“R²” es la bondad de ajuste la cual expresa la proporción de varianza de la variable dependiente que está explicada por las variables independientes, conocido también como el Coeficiente de determinación. En este caso muestra que el 59.10% del valor de CBR es explicada por el índice de PDC y %W

Tabla 34

Prueba de significancia ANOVA para suelos arenosos.

PRUEBA DE SIGNIFICACIÓN "ANOVA"						
Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	361.389	2	180.694	5.056	0.044
	Residuo	250.16	7	35.737		
	Total	611.548	9			

Variable dependiente: (CBR), Variables Independientes (Índice de PDC y Humedad %W).

Análisis de los estadísticos encontrados 2:

En el cuadro nos muestra si existe o no relación entre las variables, dicho de otra forma, que si las variables están linealmente relacionadas.

El valor “p” = **0.044 < 0.05**, entonces rechazamos la hipótesis nula y aceptamos que las variables están linealmente relacionadas.

Tabla 35

Coefficientes del modelo de regresión Múltiple para suelos arenosos.

COEFICIENTES DEL MODELO DE REGRESIÓN MÚLTIPLE						
Modelo		B	Error estándar	Coefficientes estandarizados	t	Sig.
1	Constante	33.718	7.888		4.274	0.004
	IPDC (mm/golp)	-0.027	0.323	-0.776	-3.18	0.015
	Humedad (%W)	-0.214	0.447	-0.117	-0.479	0.647

Variable dependiente: (CBR), Variables Independientes (Índice de PDC y Humedad %W)

Análisis de los estadísticos encontrados 3:

En el cuadro se muestra los coeficientes del modelo de regresión múltiple y su respectiva significancia de cada uno de los parámetros.

El criterio a tomar es la siguiente: Si “p” o “Sig” < 0.05 entonces este parámetro influye significativamente en la determinación de la capacidad de soporte CBR.

Si “p” o “Sig” > 0.05 entonces este parámetro NO influye significativamente en la determinación de la capacidad de soporte CBR.

Índice de PDC : $p = 0.015 < 0.05 \Rightarrow$ *Influyen significativamente*

Humedad %W : $p = 0.647 < 0.05 \Rightarrow$ *No Influyen significativamente*

Finalmente, la expresión matemática entre el CBR, IPDC y el grado de humedad (%W) para suelos arenosos según clasificación sería de la siguiente forma:

$$CBR = 33.72 - 0.03Ipdc - 0.21\%W \quad (39)$$

Donde:

CBR : Capacidad de soporte california \Rightarrow (%)

Ipdc : Índice de Penetración Dinámica de Cono \Rightarrow (mm/golp)

%W : Contenido de humedad del suelo \Rightarrow (%)

De igual forma se muestra la gráfica de regresión lineal múltiple para las variables CBR, Índice de PDC y Humedad con su respectiva superficie de respuesta para suelos Arenosos queda de la siguiente manera.

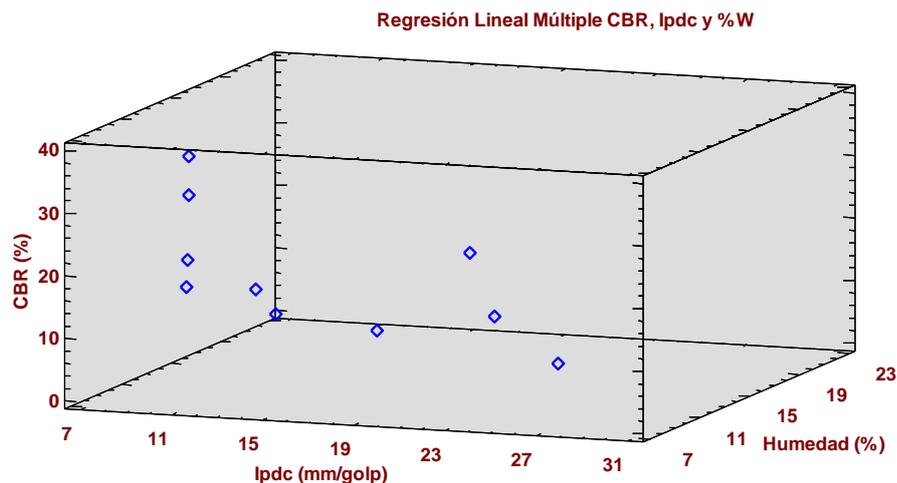


Figura 67. Regresión lineal múltiple CBR, Ipdc Y %W en suelos arenosos

La gráfica de superficie de respuesta muestra una forma más fácil de interpretar y estimar tentativamente los resultados de la variable dependiente en función del comportamiento de las variables dependientes regresores.

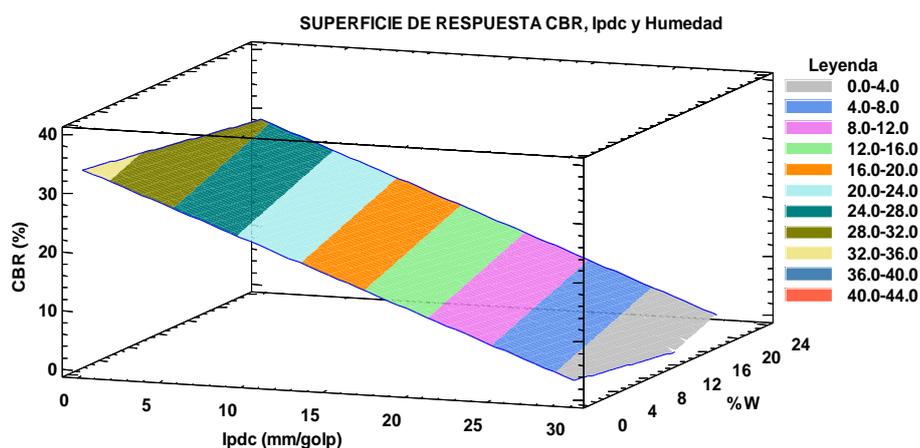
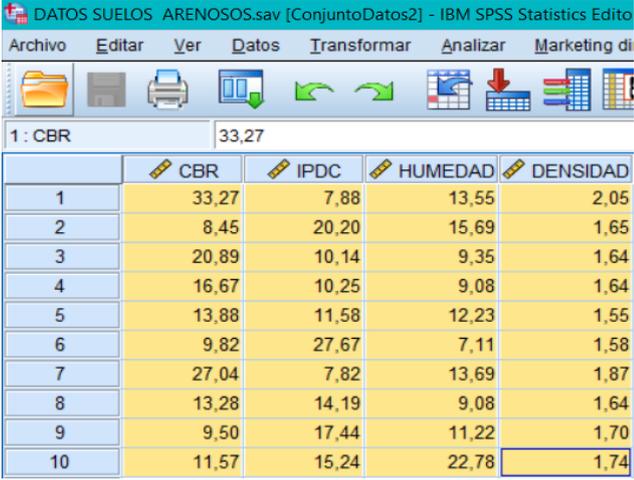


Figura 68. Superficie de respuesta CBR, Ipdc y Humedad para suelos arenosos

De igual forma para el caso de suelos arenosos se tiene resultados observados y medidos de la densidad natural del suelo (γ_s). podemos hacer uso adicional para verificar el comportamiento que tiene cuando se asocia con las otras variables. Quiere decir analizaremos y veremos el grado de correlación que mantiene en la determinación de la Capacidad de Soporte California (CBR) en función del Índice de (Ipdc), el grado de Humedad (%W) y la densidad natural del suelo (γ_s) conjuntamente asociados como se muestra.

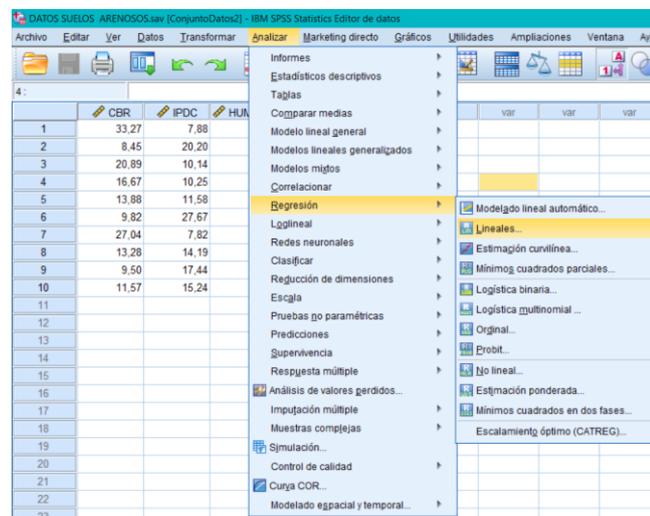
3.8.4.2. REGRESIÓN LINEAL MÚLTIPLE ENTRE CBR, IPDC; HUMEDA %W y DENSIDAD

- a) Identificamos el conjunto de datos que se requiere analizar, en este caso CRB, como variable dependiente, IPDC, Humedad y Densidad como variables independientes.

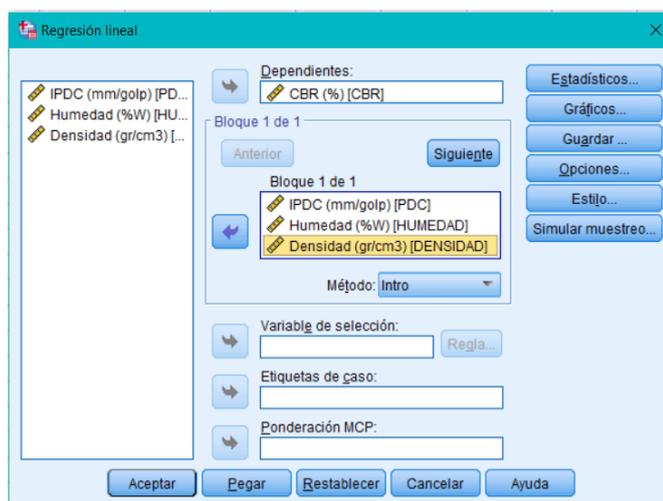


	CBR	IPDC	HUMEDAD	DENSIDAD
1	33,27	7,88	13,55	2,05
2	8,45	20,20	15,69	1,65
3	20,89	10,14	9,35	1,64
4	16,67	10,25	9,08	1,64
5	13,88	11,58	12,23	1,55
6	9,82	27,67	7,11	1,58
7	27,04	7,82	13,69	1,87
8	13,28	14,19	9,08	1,64
9	9,50	17,44	11,22	1,70
10	11,57	15,24	22,78	1,74

- b) Nos dirigimos a la pestaña analizar ⇨ Regresión y Lineales.



- c) Trasladamos la variable Dependiente CBR al casillero que le corresponde, de igual forma el IPDC, Humedad y Densidad al bloque 1 de 1 como se muestra.



Culminado todo este procedimiento el Software nos brinda la siguiente información.

Tabla 36

Resumen del modelo de regresión para suelos arenosos.

RESUMEN DEL MODELO				
Modelo	R	R Cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de estimación
1	0.948	0.899	0.848	3.20896

Variable dependiente: (CBR), Variables Independientes (Índice de PDC, Humedad %W y Densidad).

Análisis de los estadísticos encontrados 1:

“R” representa el coeficiente de correlación múltiple o coeficiente de correlación de Pearson que viene a ser 0.95 la cual nos expresa que existe un **GRADO DE CORRELACIÓN MUY ALTA** entre las variables CBR, PDC, %W y Densidad.

“R²” es la bondad de ajuste la cual expresa la proporción de varianza de la variable dependiente que está explicada por las variables independientes, conocido también como el Coeficiente de determinación. En este caso muestra que el 89.90% del valor de CBR es explicada por el índice de PDC, %W y Densidad natural.

Tabla 37*Prueba de significancia ANOVA para suelos arenosos*

PRUEBA DE SIGNIFICACIÓN "ANOVA"						
Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	549.764	3	183.255	17.796	0.002
	Residuo	61.784	6	10.297		
	Total	661.548	9			

Variable dependiente: (CBR), Variables Independientes (Índice de PDC, Humedad %W y Densidad).

Análisis de los estadísticos encontrados 2:

En el cuadro nos muestra si existe o no relación entre las variables, dicho de otra forma, que si las variables están linealmente relacionadas.

El valor "**p**" = **0.002 < 0.05**, entonces rechazamos la hipótesis nula y aceptamos que las variables están linealmente relacionadas.

Tabla 38*Coefficientes del modelo de regresión múltiple para suelos arenosos*

COEFICIENTES DEL MODELO DE REGRESIÓN MÚLTIPLE						
Modelo		B	Error estándar	Coefficientes estandarizados (Beta)	t	Sig.
1	Constante	-32.004	15.939		-2.008	0.091
	IPDC (mm/golp)	-0.599	0.2	-0.452	-2.993	0.024
	Humedad (%W)	-0.569	0.254	-0.311	-2.243	0.066
	Densidad (gr/cm3)	37.529	8.775	-683	4.277	0.005

Variable dependiente: (CBR), Variables Independientes (Índice de PDC, Humedad %W y Densidad).

En la tabla 38 se muestra los coeficientes del modelo de regresión múltiple y su respectiva significancia de cada uno de los parámetros.

El criterio a tomar es la siguiente: Si "**p**" o "**Sig**" < 0.05 entonces este parámetro influye significativamente en la determinación de la capacidad de soporte CBR.

Si "**p**" o "**Sig**" > 0.05 entonces este parámetro NO influye significativamente en la determinación de la capacidad de soporte CBR.

Índice de PDC : $p = 0.024 < 0.05 \Rightarrow$ Influyen significativamente

Humedad %W : $p = 0.066 > 0.05 \Rightarrow$ No Influyen significativamente

Densidad γ : $p = 0.005 < 0.05 \Rightarrow$ Influyen significativamente

Finalmente, la expresión matemática entre el CBR, I_{pdc} , el grado de humedad (%W) y la densidad natural del suelo queda establecida de la siguiente forma:

$$CBR = -32 - 0.60I_{pdc} - 0.57\%w + 37.53\gamma_s \quad (40)$$

Donde:

CBR : Capacidad de soporte california \Leftrightarrow (%)

I_{pdc} : Índice de Penetración Dinámica de Cono \Leftrightarrow (mm/golp)

%W : Contenido de humedad del suelo \Leftrightarrow (%)

γ_s : Densidad natural del suelo \Leftrightarrow (gr/cm³)

Es el mismo caso que sucede para los suelos arenosos, cuando la densidad natural del suelo se asocia con el Índice de Penetración Dinámica de Cono (I_{pdc}) y el grado de humedad del suelo (%W), ofrece mayor explicación a la fórmula de correlación. Esto es precisado con el mayor grado de coeficiente de correlación y la bondad de ajuste que muestra dicha asociación.

Finalmente, la regresión lineal múltiple entre el CBR, Índice de PDC, Humedad y densidad para suelos arenosos queda de la siguiente forma.

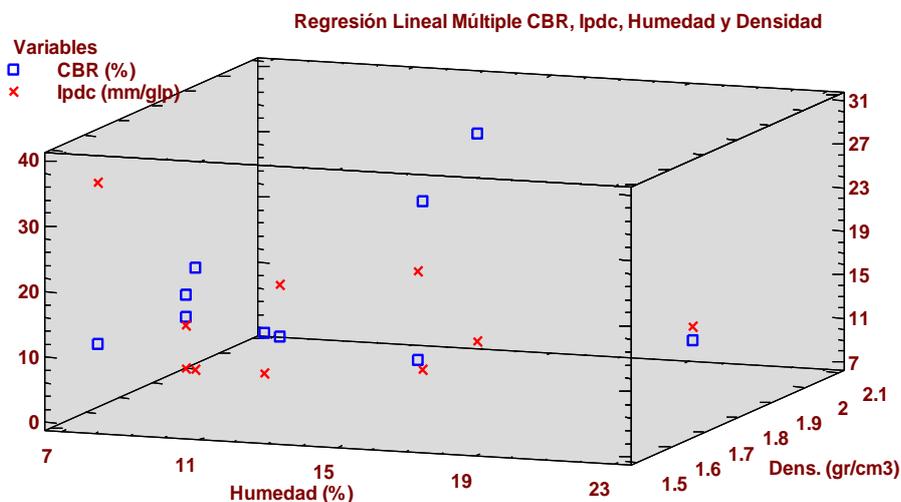


Figura 69. Regresión Lineal Múltiple entre el CBR, I_{pdc} ; Humedad y Densidad para suelos arenosos.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la presente investigación se ha agrupado para el análisis de los resultados en dos grupos tal como se ha mostrado en el análisis estadístico. El criterio es por el tipo de suelo que predomina más en cada una de ellas.

El primer grupo: está conformado por suelos Limos de baja plasticidad (**ML**), Limos de alta plasticidad (**MH**) y Arcilla de baja plasticidad (**CL**).

ML, ML, ML, CL, ML, MH, ML, ML, ML, ML ⇒ **ML, CL, MH** ⇒ Suelos Finos.

El segundo grupo: está conformado por arenas bien graduadas (**SW**) y arenas pobremente graduadas (**SP**) únicamente.

SW, SP, SP, SP, SP, SP, SP, SP, SP, SP ⇒ **SW, SP** ⇒ Suelos Arenosos.

4.1. RESULTADOS OBSERVADOS PARA LOS SUELOS FINOS

En la tabla 39 se muestra los resultados observados de la Capacidad de Soporte California (CBR), Índice de PDC; el grado de humedad %W; la densidad natural del suelo (γ_s) y la respectiva clasificación según SUCS y AASHTO para los suelos finos.

Tabla 39

Resultados observados para suelos finos

RESULTADOS OBSERVADOS PARA SUELOS FINOS							
Calicata	Capacidad de Soporte California CBR (%)	índice de PDC (mm/golp)	Porcentaje de humedad %W	Densidad del suelo (gr/cm ³)	Tipo de suelo SUCS	Clasificación AASHTO	Descripción
1	2.50	40.80	34.08	1.86	ML	A-4(8)	Limo de baja plasticidad
1--2	3.35	25.00	34.08	1.85	ML	A-4(8)	Limo de baja plasticidad
2	4.59	20.66	30.08	1.93	ML	A-4(8)	Limo de baja plasticidad
3	5.70	11.33	24.75	1.96	CL	A-4 (7)	Arcilla de baja plasticidad
4	6.03	16.22	32.97	1.86	ML	A-4 (5)	Limo de baja plasticidad
5	4.29	18.31	42.03	1.77	MH	A-7-5 (18)	Limo de alta plasticidad
6	5.54	11.73	35.00	1.89	ML	A-4 (8)	Limo de baja plasticidad
7	8.86	10.45	24.64	1.66	ML	A-4 (3)	Limo de baja plasticidad
9	9.67	9.32	12.01	1.52	ML	A-4 (8)	Limo de baja plasticidad
16	3.60	34.12	29.18	1.52	ML	A-4 (8)	Limo de baja plasticidad

Nota: 1--2 Se ha realizado dos estudios de CBR inalterado

Nota: Los resultados que se observan han sido determinadas en campo y laboratorio.

4.2. RESULTADOS OBSERVADOS PARA SUELOS ARENOSOS

En la tabla 40 se muestra los resultados observados de la Capacidad de Soporte California (CBR), Índice de PDC; el grado de humedad %W; la densidad natural del suelo (γ_s) y la respectiva clasificación según SUCS y AASHTO para los suelos arenosos.

Tabla 40
Resultados Observados para suelos Arenosos

RESULTADOS OBSERVADOS PARA SUELOS ARENOSOS							
Calicata	Capacidad de Soporte California CBR (%)	Índice de PDC (mm/golp)	Porcentaje de humedad %W	Densidad del suelo (gr/cm ³)	Tipo de suelo SUCS	Clasificación AASHTO	Descripción
7--2	33.27	7.88	13.55	2.05	SW	A-3 (0)	Arena bien graduada
8	8.45	20.2	15.69	1.65	SP	A-3 (0)	Arena pobremente graduada
9--2	20.89	10.14	9.35	1.64	SP	A-3 (0)	Arena pobremente graduada
10	16.67	10.25	9.08	1.64	SP	A-3 (0)	Arena pobremente graduada
11	13.88	11.58	12.23	1.55	SP	A-3 (0)	Arena pobremente graduada
12	9.82	27.67	7.11	1.58	SP	A-3 (0)	Arena pobremente graduada
13	27.04	7.82	13.69	1.87	SP	A-3 (0)	Arena pobremente graduada
14	13.28	14.19	9.08	1.64	SP	A-3 (0)	Arena pobremente graduada
15	9.5	17.44	11.22	1.70	SP	A-3 (0)	Arena pobremente graduada
16--2	11.57	15.24	22.78	1.74	SP	A-3 (0)	Arena pobremente graduada

Nota: 7--2, 9--2, 16--2 Se ha realizado CBR remoldeado en la misma calicata del grupo anterior

Nota: Los resultados que se observan han sido determinadas en campo y laboratorio.

4.3. ECUACIONES DE CORRELACIÓN PARA DETERMINAR EL CBR DE SUELOS FINOS

En esta sección se presenta las ecuaciones que han sido generados y calibrados las ecuaciones de correlación para estimar la Capacidad de Soporte California en suelos finos a nivel de la subrasante aplicado en la vía Juliaca - Caracoto. Para lo cual se ha considerado las características naturales del suelo encontrado en campo como es el Índice de PDC y la humedad, pero adicionalmente la densidad natural del suelo que ha mostrado un mejor comportamiento asociado con otras variables predictoras.

4.3.1. ECUACIÓN EN FUNCION DEL CBR, I_{pdc} Y HUMEDAD %W

La ecuación 41 muestra la expresión matemática para determinar el CBR del suelo en función de los parámetros que explican dicha correlación, que vienen a ser el Índice de PDC (I_{pdc}) y el grado de humedad del suelo (%W). Ofreciendo un grado de correlación MUY ALTA y que estos parámetros explican un 87% del valor de CBR.

$$R = 0.93, R^2 = 0.87$$

$$CBR = 12.35 - 0.13Ipdc - 0.15\%w \quad (41)$$

4.3.2. ECUACIÓN EN FUNCIÓN DEL CBR, IPDC; %W y DENSIDAD NATURAL

La ecuación 42 muestra la expresión matemática para determinar el CBR del suelo en función de los parámetros que explican dicha correlación, que vienen a ser el Índice de PDC ($Ipdc$), el grado de humedad del suelo (%W) y la densidad natural (gr/cm^3). Ofreciendo un grado de correlación MUY ALTA y que estos parámetros explican un 92% del valor de CBR.

Como se observa, a diferencia de la ecuación 39, esta correlación explica mejor la determinación del CBR. Entonces se puede precisar que la densidad del suelo es incidente y significativa en la determinación del CBR del suelo.

$$R = 0.96, R^2 = 0.92$$

$$CBR = 18.12 - 0.15Ipdc - 0.10\%W - 3.84\gamma_s \quad (42)$$

4.4. ECUACIONES DE CORRELACIÓN PARA DETERMINAR EL CBR DE SUELOS ARENOSOS

Finalmente han sido generados y calibrados las ecuaciones de correlación para estimar la Capacidad de Soporte California en suelos arenosos a nivel de la subrasante aplicado en la vía Juliaca - Caracoto. Para lo cual se ha considerado las características naturales del suelo encontrado en campo como es la humedad, la densidad y el Índice de PDC mediante ensayo como se detalla.

4.4.1. ECUACIÓN EN FUNCIÓN DEL CBR, $Ipdc$ y HUMEDAD %W

La ecuación 43 muestra la expresión matemática para determinar el CBR del suelo en función de los parámetros que explican dicha correlación, que vienen a ser el Índice de PDC ($Ipdc$) y el grado de humedad del suelo (%W). Ofreciendo un grado de correlación ALTA y que estos parámetros explican un 59% del valor de CBR.

$$R = 0.77, R^2 = 0.59$$

$$CBR = 33.72 - 0.03Ipdc - 0.21\%W \quad (43)$$

4.4.2. ECUACIÓN EN FUNCIÓN DEL CBR, IPDC; %W y DENSIDAD NATURAL

La ecuación 44 muestra la expresión matemática para determinar el CBR del suelo en función de los parámetros que explican dicha correlación, que vienen a ser el Índice de PDC (I_{pdc}), el grado de humedad del suelo (%W) y la densidad natural (γ_s). Ofreciendo un grado de correlación MUY ALTA y que estos parámetros explican un 90% del valor de CBR.

Como se observa, a diferencia de la ecuación 41, esta correlación explica mejor la determinación del CBR. Entonces se puede precisar que la densidad del suelo es incidente y significativa también en la determinación del CBR de suelos arenosos.

$$R = 0.95, R^2 = 0.90$$

$$CBR = -32 - 0.60I_{pdc} - 0.57\%W + 37.53\gamma_s \quad (44)$$

4.5. RESULTADOS OBTENIDOS PARA SUELOS FINOS

En la tabla 41 y los gráficos comparativos de barra se muestran los resultados comparativos propiamente dicho entre los valores de CBR observados sobre muestras inalteradas ensayados en el laboratorio vs. Los determinados mediante la ecuación ASTM D 6951-09 y los determinados mediante las ecuaciones que se explicaron anteriormente.

Tabla 41
Resultados obtenidos para suelos finos

RESULTADOS OBTENIDOS PARA SUELOS FINOS					
Calicata	Capacidad de Soporte California CBR (%)	Tipo de suelo	Ecuación ASTM D 6951-09 $CBR = \frac{292}{IPDC^{1.12}}$	(EC.01) En función del CBR, IPDC y %W	(EC. 02) En función del CBR, IPDC y %W y Dens.
1	2.50	SW	4.586	1.934	1.450
1-2	3.35	SP	7.938	3.988	3.858
2	4.59	SP	9.827	5.152	4.602
3	5.70	SP	19.260	7.165	6.419
4	6.03	SP	12.886	5.296	5.248
5	4.29	SP	11.251	3.665	4.374
6	5.54	SP	18.525	5.575	5.603
7	8.86	SP	21.085	7.296	7.714
9	9.67	SP	23.968	9.337	9.684
16	3.60	SP	5.603	3.537	4.247
EC.01	$CBR = 12.35 - 0.13PDC - 0.15\%W$				
EC.02	$CBR = 18.12 - 0.15PDC - 0.10\%W - 3.84\gamma$				

En la figura 70 se muestra la comparación de resultados entre índice de capacidad de soporte californiana (CBR) observados sobre muestra inalterada y los determinados mediante la fórmula que plantea la normativa ASTM D 6951-09. Se puede precisar que existe una diferencia considerable o también sobreestimada que puede llevar a cometer un gran error en su aplicación.

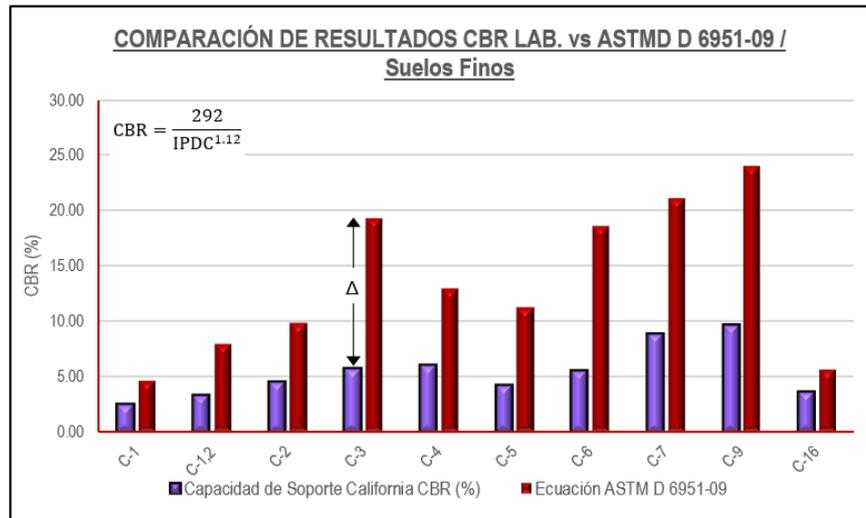


Figura 70. Comparación de resultados CBR laboratorio vs ASTM en suelos finos.

En la figura 71 se presenta la comparación de resultados entre el CBR observado sobre muestra inalterada y los valores estimados mediante la ecuación de correlación calibrada en función del Índice de Penetración Dinámica de Cono (Ipdc) y el grado de humedad (%W) del suelo. En la cual se observa mayor ajuste a los valores reales con un alto grado de aceptación.

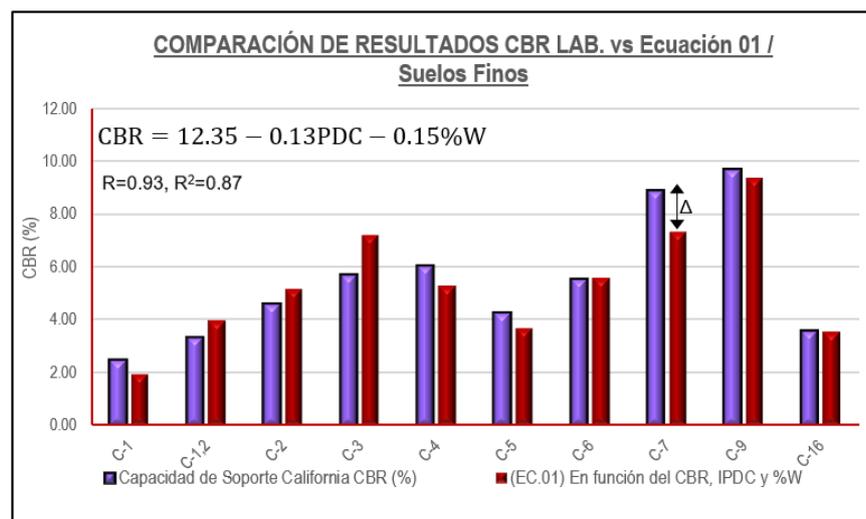


Figura 71. Comparación de resultados CBR laboratorio vs ecuación 01 en suelos finos.

Finalmente, en la figura 72 se observa la comparación de resultados entre el CBR observado sobre muestra inalterada y los valores estimados mediante la ecuación de correlación calibrada en función del Índice de PDC (Ipdc), el grado de humedad (%W) e incluyendo adicionalmente la densidad natural del suelo (γ_s). En la cual se observa mayor ajuste a los valores reales con un alto grado de aceptación a diferencia del caso anterior.

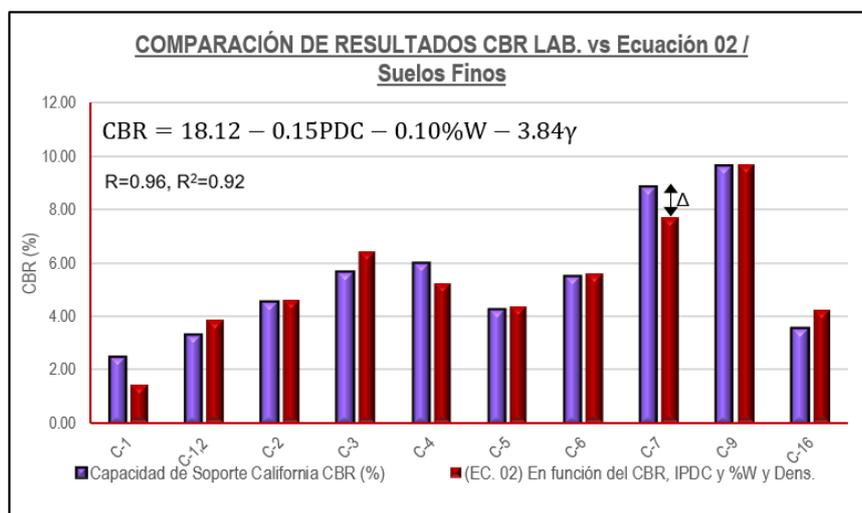


Figura 72. Comparación de resultados CBR laboratorio vs ecuación 02 en suelos finos.

Las diferencias (Δ) que se muestran en las barras de comparación en los suelos finos tienen su significado y este comportamiento se debe principalmente a los factores naturales o ambientales en el cual han sido medidos las variables independientes como es el índice de penetración dinámica de cono (Ipdc), el grado de humedad (%W) y la densidad natural del suelo (γ_s).

- ◆ **Índice de Penetración Dinámica de Cono:** Este parámetro está directamente relacionado con la densidad y humedad del suelo. La cual es expresado en mm de penetración por un golpe de caída del martillo de 8kg de peso. Otro de los casos es la existencia de partículas consideradas gravas y gravillas en el eje vertical de penetración, que generan el rebote del cono.
- ◆ **Contenido de Humedad:** A mayor humedad, mayor penetración del cono de 60°, ya que las partículas del suelo están completamente saturada o rodeada por el agua. que permiten la fácil penetración del cono.
- ◆ **Densidad Natural del Suelo:** A mayor densidad del suelo, el Ipdc es menor, quiere decir que el cono de 60° penetra lentamente por la fricción que existe en las paredes del cono al ingresar en el núcleo del suelo fino.

Finalmente, el efecto de estos factores externos hace una acumulación de diferencia entre los valores observados de CBR y los valores obtenidos mediante las ecuaciones de correlación. Al cual se conoce como la diferencia de medias que también se analiza estadísticamente.

Tabla 42

Significado de la diferencia de resultados obtenidos en suelo finos.

CBR laboratorio con respecto a las ecuaciones de:	Diferencia de Medias (Δ)
ASTMD 6951-09	$\pm 8.08\%$
Ecuación 01*	$\pm 0.12\%$
Ecuación 02**	$\pm 0.05\%$

**incluye humedad, **incluye humedad y densidad*

4.6. RESULTADOS OBTENIDOS PARA SUELOS ARENOSOS

Finalmente, En el cuadro y gráficos se muestran los resultados comparativos entre los valores de CBR observados sobre muestras remoldadas bajo humedad y densidad natural, ensayados en el laboratorio vs. Los determinados mediante la ecuación ASTM D 6951-09 y los determinados mediante las ecuaciones que se explicaron anteriormente.

Tabla 43

Resultados Obtenidos para suelos arenosos

RESULTADOS OBTENIDOS PARA SUELOS ARENOSOS					
Calicata	Capacidad de Soporte California CBR (%)	Tipo de suelo	Ecuación ASTM D 6951-09 $CBR = \frac{292}{IPDC^{1.12}}$	(EC.01) En función del CBR, IPDC y %W	(EC. 02) En función del CBR, IPDC y %W y Dens.
7--2	33.27	SM	28.925	30.638	32.485
8	8.45	SM	10.078	29.819	8.861
9--2	20.89	SM	21.808	31.452	18.136
10	16.67	SM	21.546	31.506	18.224
11	13.88	SM	18.794	30.804	12.252
12	9.82	SM	7.085	31.397	6.643
13	27.04	SM	29.174	30.611	25.686
14	13.28	SM	14.968	31.388	15.860
15	9.5	SM	11.881	30.841	14.942
16--2	11.57	SM	13.818	28.479	11.174
EC.01	$CBR = 33.72 - 0.03PDC - 0.21\%W$				
EC.02	$CBR = -32 - 0.60PDC - 0.57\%W - 37.53\gamma$				

En la figura 73 se muestra la comparación de resultados entre índice de capacidad de Soporte California (CBR) observados sobre muestra remoldada bajo humedad y densidad natural y los determinados mediante la fórmula que plantea la normativa ASTM D 6951-09. Se puede observar gráficamente que se tiene una aproximación considerable.

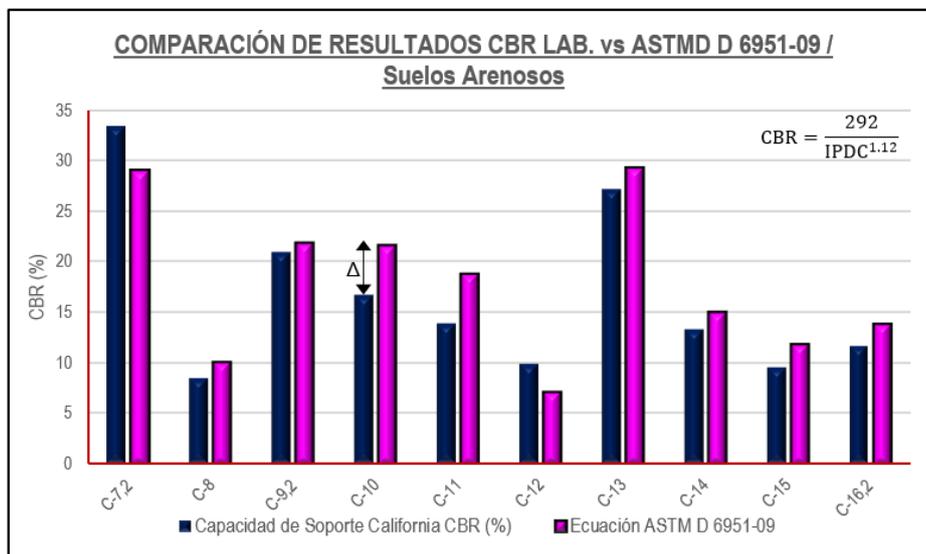


Figura 73. Comparación de resultados CBR laboratorio vs ASTM D 6951-09 para suelos arenosos.

En la figura 74 se presenta la comparación de resultados entre el CBR observado sobre muestras remoldadas bajo humedad y densidad natural y los valores estimados mediante la ecuación de correlación calibrada en función del Índice de Penetración Dinámica de Cono (Ipdc) y el grado de humedad (%W) del suelo arenoso. En la cual se observa que, con la humedad, los valores estimados son muy superiores a los observados, entonces en el siguiente caso veremos el comportamiento incluyendo la densidad.

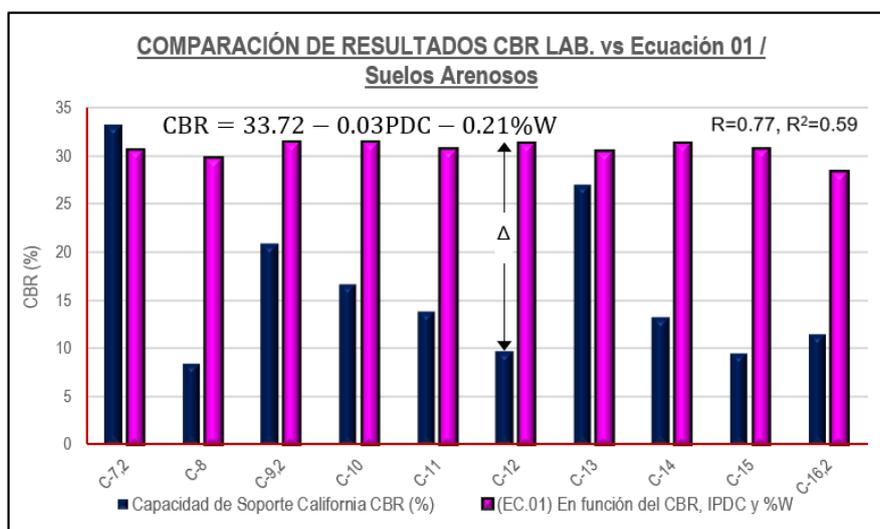


Figura 74. Comparación de resultados CBR laboratorio vs Ecuación 01 en suelos arenosos

Finalmente se presenta la comparación de resultados entre el CBR observado sobre muestras remoldadas bajo humedad y densidad natural y los valores estimados mediante la ecuación de correlación calibrada en función del Índice de Penetración Dinámica de Cono (Ipdc), el grado de humedad (%W) y la densidad natural (γ_s) de los suelos arenosos.

Cabe precisar que esta ecuación de correlación para suelos arenosos explica más la determinación de la capacidad de soporte californiana del suelo con un grado de aceptación muy alta.

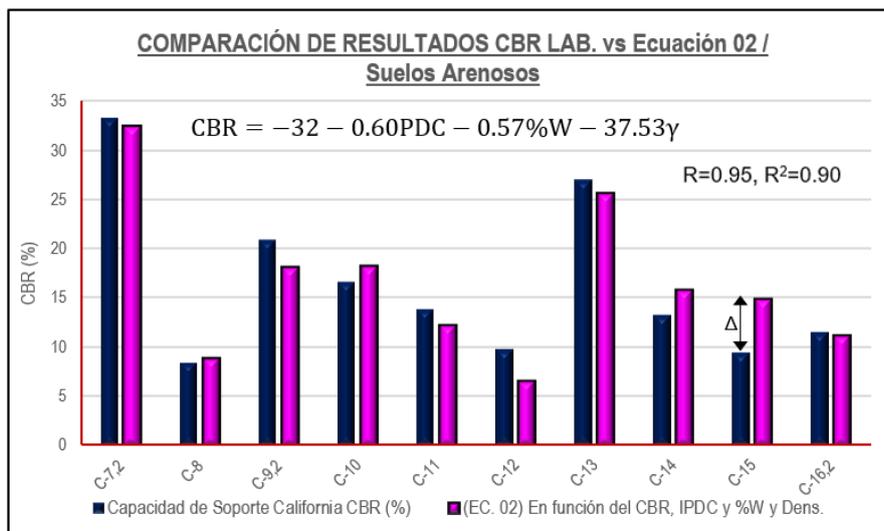


Figura 75. Comparación de resultados CBR laboratorio vs Ecuación 02 en suelos arenosos.

Las diferencias (Δ) que se muestran en las barras de comparación en los suelos arenosos también se debe a la misma situación de los suelos finos, a los factores naturales o ambientales en el cual han sido medidos las variables independientes como es el (Ipdc), el (%W) y la (γ_s).

- ◆ **Índice de Penetración Dinámica de Cono:** Este parámetro también está directamente relacionado con la densidad y humedad del suelo. La cual es expresado en mm de penetración por un golpe de caída del martillo de 8kg de peso. Otro de los casos es también la existencia de partículas consideradas gravas y gravillas en el eje vertical de penetración, que generan el rebote del cono.
- ◆ **Contenido de Humedad:** En el caso de la humedad no incide mucho en la determinación del Ipdc, esto se puede observar en la comparación.

- ◆ **Densidad Natural del Suelo:** A mayor densidad del suelo, el I_{pdc} es menor, quiere decir que el cono de 60° penetra lentamente por la fricción que existe en las paredes del cono al ingresar en el núcleo del suelo arenoso.

Finalmente, el efecto de estos factores externos hace una acumulación de diferencia entre los valores observados de CBR y los valores obtenidos mediante las ecuaciones de correlación. Al cual se conoce como la diferencia de medias que también se analiza estadísticamente.

Tabla 44

Significado de diferencia de resultados obtenidos en suelo arenosos.

CBR laboratorio con respecto a las ecuaciones de:	Diferencia de Medias (Δ)
ASTM D 6951-09	$\pm 1.37\%$
Ecuación 01*	$\pm 14.26\%$
Ecuación 02**	$\pm 0.01\%$

**incluye humedad, **incluye humedad y densidad*

4.6.1. PRUEBA DE HIPÓTESIS

“La prueba de Hipótesis estadística es el área más importante de la teoría de decisión. Es una regla en donde los valores experimentales que son observados llevan a una decisión de no rechazar (aceptar) o rechazar la hipótesis planteada bajo ciertas consideraciones”. Moya & Saravia (2007).

“Una prueba estadística de hipótesis está formada de cinco partes, el mismo que puede expresarse mediante un proceso como se muestra”. Apaza (2017)

- ◆ Paso N°1 : Se plantea la hipótesis nula y la hipótesis alterna.
- ◆ Paso N°2 : Seleccionar el nivel de significancia.
- ◆ Paso N°3 : Identificar el estadístico de prueba.
- ◆ Paso N°4 : Formular la regla de decisión.
- ◆ Paso N°5 : Toma de decisión con respecto a la hipótesis nula.

Para el desarrollo de la prueba de hipótesis tomaremos en cuenta las dos ecuaciones de correlación que han sido generados para determinar la Capacidad de Soporte California (CBR) primero en función del I_{pdc} y %W. Y adicionalmente incluyendo la densidad natural

ys. Ya que esta correlación tiene mayor bondad de ajuste según el análisis de regresión lineal Múltiple.

4.6.1.1. PRUEBAS BILATERALES O DE DOS COLAS

Esta prueba de dos colas, se practica en el análisis de dos grupos de resultados, exactamente el caso que se quiere estudiar y corroborar entre los resultados observados de CBR sobre muestras inalteradas y los determinados mediante ecuación de correlación calibrada.

La forma de la hipótesis que se debe de practicar es como se presenta

$$H_0: u = u_0 \quad H_a: u \neq u_0$$

Significa que las medias del primer conjunto de datos observados (CBR sobre muestras inalteradas) serán iguales a los otros resultados determinados mediante la ecuación de correlación en función del I_{pdc} , %W y adicionalmente la densidad natural γ_s .

4.6.2. PRUEBA DE HIPÓTESIS PARA LOS SUELOS FINOS EN FUNCIÓN DEL I_{pdc} y %W

Primero planteamos las hipótesis Nula (H_0) y la hipótesis alterna (H_a).

H_0 : “No Existe Variabilidad de los resultados entre el ensayo convencional CBR de laboratorio sobre muestras inalteradas y el método indirecto PDC mediante ecuación calibrada”.

H_a : Existe Variabilidad de los resultados entre el ensayo convencional CBR de laboratorio sobre muestras inalteradas y el método indirecto PDC mediante ecuación calibrada.

$$H_0 \quad : U_d = u_d = u_1 - u_2 = 0$$

$$H_a \quad : U_d = u_d = u_1 - u_2 \neq 0$$

Criterio estadístico:

El criterio estadístico es por el nivel de significancia que queda establecido en 0.05 (5%)

- ◆ *Si $P < 0.05$ el modelo es significativo*
- ◆ *Si $P < 0.01$ el modelo es altamente significativo*
- ◆ *Si $P > 0.05$ el modelo no es significativo*

Para acelerar el proceso de los resultados, se hace uso del Software SPSS, la cual nos ofrece los siguientes resultados.

Tabla 45

Prueba T - Student para dos muestras suponiendo varianzas iguales en suelos finos

	CBR Laboratorio (%)	Ecuación calibrada En función del CBR, IPDC y %W.
<u>Media</u>	<u>5.4130</u>	<u>5.2945</u>
Observaciones	10	10
Grados de libertad	18	
<u>Estadístico t</u>	<u>0.1178</u>	
P(T<=t) una cola	0.4538	
Valor crítico de t (una cola)	1.734	
<u>P(T<=t) dos colas</u>	<u>0.9075</u>	
Valor crítico de t (dos colas)	2.1009	

De la tabla 45 se puede observar que $P(T \leq t)$ dos colas = 0.9075 > 0.05, entonces se ACEPTA la hipótesis nula. Por tal razón se precisa estadísticamente que no existe diferencia significativa entre los resultados observados del valor de CBR en laboratorio sobre muestras inalteradas con respecto a la ecuación calibrada.

De igual forma se puede localizar en la campana de distribución del T- Student los valores críticos de t (dos colas) = ± 2.1009 y el estadístico $t = 0.1178$ que explica la concentración del conjunto de datos dentro de la región de aceptación, pero alejado al deseado.

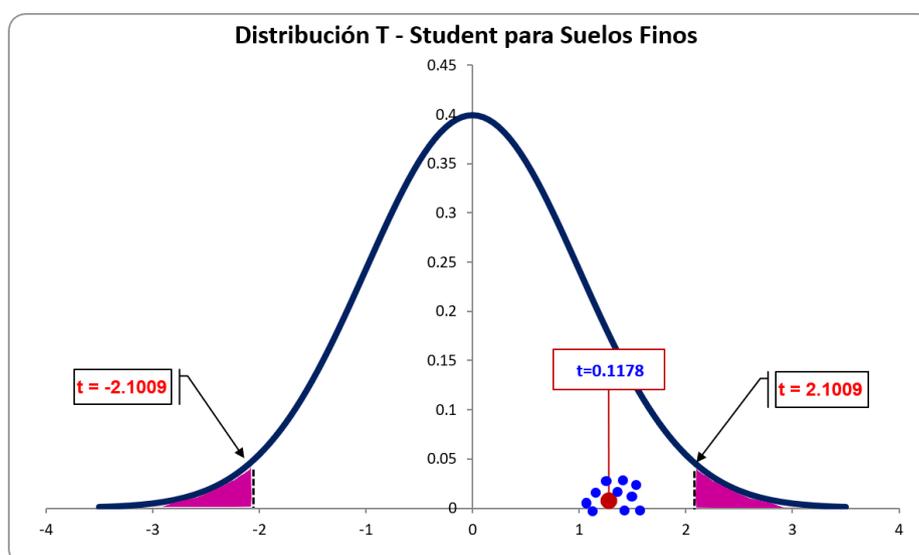


Figura 76. Distribución T-Student para suelos finos

4.6.3. PRUEBA DE HIPÓTESIS PARA SUELOS ARENOSOS EN FUNCIÓN DEL I_{pdc} y %W

Primero planteamos las hipótesis Nula (H_0) y la hipótesis alterna (H_a).

H_0 : “No Existe Variabilidad de los resultados entre el ensayo convencional CBR de laboratorio sobre muestras inalteradas y el método indirecto PDC mediante ecuación calibrada”.

H_a : Existe Variabilidad de los resultados entre el ensayo convencional CBR de laboratorio sobre muestras inalteradas y el método indirecto PDC mediante ecuación calibrada.

$$H_0 : U_d = u_d = u_1 - u_2 = 0$$

$$H_a : U_d = u_d = u_1 - u_2 \neq 0$$

Criterio estadístico:

El criterio estadístico es por el nivel de significancia que queda establecido en 0.05 (5%)

- ◆ Si $P < 0.05$ el modelo es significativo
- ◆ Si $P < 0.01$ el modelo es altamente significativo
- ◆ Si $P > 0.05$ el modelo no es significativo

Para acelerar el proceso de los resultados, se hace uso del Software SPSS, la cual nos ofrece los siguientes resultados.

Tabla 46

Prueba T Student para dos muestras suponiendo varianzas iguales en suelos arenosos

	CBR Laboratorio (%)	Ecuación calibrada En función del CBR, I_{pdc} y %W.
<u>Media</u>	<u>16.4370</u>	<u>30.6934</u>
Observaciones	10	10
Grados de libertad	18	
<u>Estadístico t</u>	<u>-5.4340</u>	
P(T<=t) una cola	0.0000183	
Valor crítico de t (una cola)	1.734	
<u>P(T<=t) dos colas</u>	<u>0.0000367</u>	
Valor crítico de t (dos colas)	2.1009	

De la tabla 46 se puede observar que $P(T \leq t)$ dos colas = 0.0000367 < 0.05, entonces se RECHAZA la hipótesis nula. Por tal razón se precisa estadísticamente que existe diferencia significativa entre los resultados observados del valor de CBR en laboratorio sobre muestras inalteradas con respecto a la ecuación calibrada.

De igual forma se puede localizar en la campana de distribución del T- Student los valores críticos de t (dos colas) = ± 2.1009 y el estadístico $t = -5.4340$ que explica la concentración del conjunto de datos fuera de la región de aceptación.

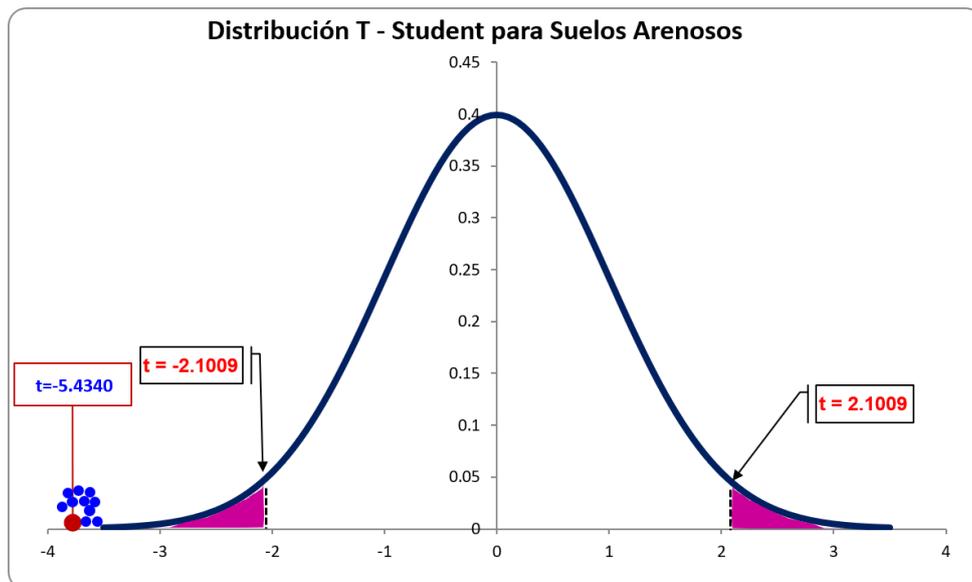


Figura 77. Distribución T- Student para suelos arenosos

4.6.4. PRUEBA DE HIPÓTESIS PARA SUELOS FINOS EN FUNCIÓN DEL I_{pdc} , %W y DENSIDAD

Primero planteamos las hipótesis Nula (H_0) y la hipótesis alterna (H_a).

H_0 : “No Existe Variabilidad de los resultados entre el ensayo convencional CBR de laboratorio sobre muestras inalteradas y el método indirecto PDC mediante ecuación calibrada”.

H_a : Existe Variabilidad de los resultados entre el ensayo convencional CBR de laboratorio sobre muestras inalteradas y el método indirecto PDC mediante ecuación calibrada.

$$H_0 : U_d = u_d = u_1 - u_2 = 0$$

$$H_a : U_d = u_d = u_1 - u_2 \neq 0$$

Criterio estadístico:

El criterio estadístico es por el nivel de significancia que queda establecido en 0.05 (5%)

- ◆ *Si $P < 0.05$ el modeo es significativo*
- ◆ *Si $P < 0.01$ el modeo es altamente significativo*
- ◆ *Si $P > 0.05$ el modeo no es significativo*

Para acelerar el proceso de los resultados, se hace uso del Software SPSS, la cual nos ofrece los siguientes resultados.

Tabla 47
Prueba T Student para dos muestras suponiendo varianzas iguales en suelos finos

Estadísticos	CBR Laboratorio (%)	Ecuación calibrada En función del CBR, IPDC y %W y Dens.
<u>Media</u>	<u>5.4130</u>	<u>5.3198</u>
Observaciones	10	10
Grados de libertad	18	
<u>Estadístico t</u>	<u>0.0911</u>	
P(T<=t) una cola	0.4642	
Valor crítico de t (una cola)	1.7341	
<u>P(T<=t) dos colas</u>	<u>0.9284</u>	
Valor crítico de t (dos colas)	2.1009	

De la tabla 47 se puede observar que $P(T \leq t)$ dos colas = 0.9282 > 0.05, entonces se acepta la hipótesis nula. Por tal razón se precisa estadísticamente que no existe diferencia significativa entre los resultados observados del valor de CBR en laboratorio sobre muestras inalteradas con respecto a la ecuación calibrada.

De igual forma se puede localizar en la campana de distribución del T- Student los valores críticos de t (dos colas) = ± 2.1009 y el estadístico t = 0.0911 que explica la concentración del conjunto de datos dentro de la región de aceptación y deseable.

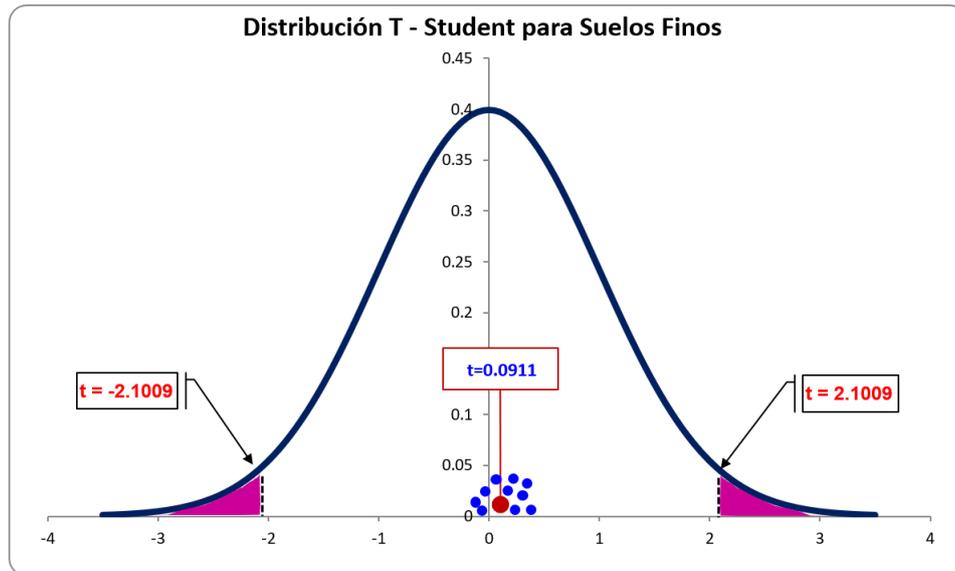


Figura 78. Distribución T - Student para suelos finos

4.6.5. PRUEBA DE HIPÓTESIS PARA SUELOS ARENOSOS EN FUNCIÓN DEL Ipdc, %W y DENSIDAD

Primero planteamos las hipótesis Nula (Ho) y la hipótesis alterna (Ha).

Ho: “No Existe Variabilidad de los resultados entre el ensayo convencional CBR de laboratorio sobre muestras inalteradas y el método indirecto PDC mediante ecuación calibrada”.

Ha: Existe Variabilidad de los resultados entre el ensayo convencional CBR de laboratorio sobre muestras inalteradas y el método indirecto PDC mediante ecuación calibrada.

$$Ho \quad : U_d = u_d = u_1 - u_2 = 0$$

$$Ha \quad : U_d = u_d = u_1 - u_2 \neq 0$$

Criterio estadístico:

El criterio estadístico es por el nivel de significancia que queda establecido en 0.05 (5%)

- ◆ *Si $P < 0.05$ el modeo es significativo*
- ◆ *Si $P < 0.01$ el modeo es altamente significativo*
- ◆ *Si $P > 0.05$ el modeo no es significativo*

Para acelerar el proceso de los resultados, se hace uso del Software SPSS, la cual nos ofrece los siguientes resultados.

Tabla 48

Prueba T Student para dos muestras suponiendo varianzas iguales en suelos arenosos

Estadísticos	CBR Laboratorio (%)	Ecuación calibrada En función del CBR, IPDC y %W y Dens.
<u>Media</u>	<u>16.4370</u>	<u>16.4261</u>
Observaciones	10	10
Grados de libertad	18	
<u>Estadístico t</u>	<u>0.0030</u>	
<u>P(T<=t) una cola</u>	<u>0.4988</u>	
Valor crítico de t (una cola)	1.7341	
<u>P(T<=t) dos colas</u>	<u>0.9976</u>	
Valor crítico de t (dos colas)	2.1009	

De la tabla 48 se puede observar que $P(T \leq t)$ dos colas = 0.9976 > 0.05, entonces se acepta la hipótesis nula. Por tal razón se precisa estadísticamente que no existe diferencia significativa entre los resultados observados del valor de CBR en laboratorio sobre muestras remoldadas con respecto a la ecuación calibrada.

De igual forma se puede localizar en la campana de distribución del T- Student los valores críticos de t (dos colas) = ± 2.1009 y el estadístico $t = 0.0030$ que explica la concentración del conjunto de datos dentro de la región de aceptación.

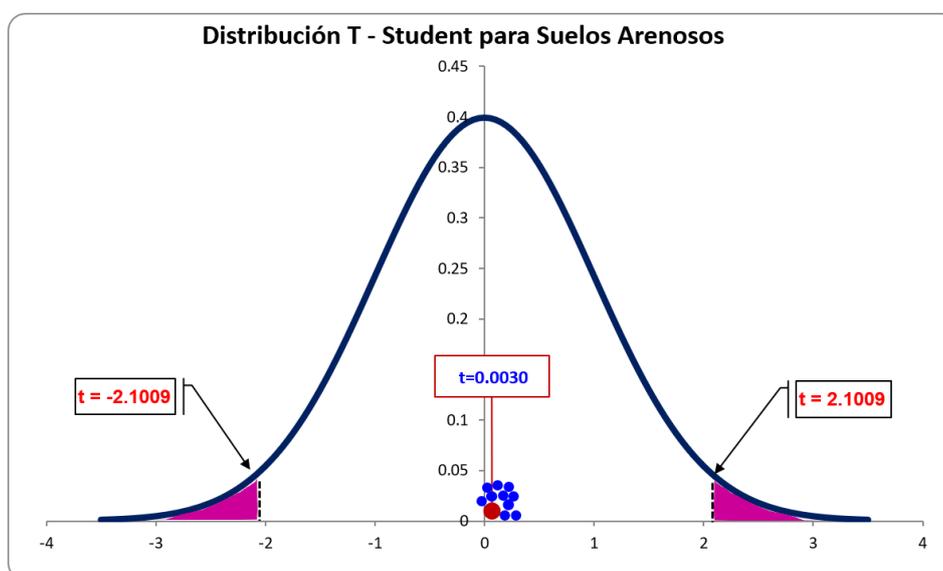


Figura 79. Distribución T - Student para suelos arenosos.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

El resultado del trabajo de investigación en el cual se incluye como variable dependiente el valor de la Capacidad de Soporte California (CBR) y como las variables Independiente (Índice de Penetración Dinámica de Cono I_{pdc} , Humedad natural del suelo %W y adicionalmente la Densidad Natural del suelo (γ_s) se precisa en las siguientes conclusiones.

Se ha calibrado dos ecuaciones de correlación que explican la determinación de la capacidad de soporte californiana (CBR) en suelos a nivel de la subrasante. Los dos grupos de suelos han sido calificados como los más relevantes entre ellas se tiene como suelos finos (**ML, CL, MH**) y suelos arenosos (**SW y SP**) únicamente.

La ecuación de correlación calibrada para determinar la capacidad de soporte californiana (CBR) en suelos finos entre ellos (Limos de baja plasticidad **ML**, Limos de alta plasticidad **MH** y Arcillas de baja plasticidad **CL**) es la siguiente expresión:

Bajo influencia del índice (I_{pdc}) y la humedad (%W) con $R=0.93$ que expresa la existencia de un grado de correlación MUY ALTA y $R^2=0.87$. quiere decir que el 87% del valor de CBR es explicada por las variables predictoras I_{pdc} y %W.

$$CBR = 12.35 - 0.13I_{pdc} - 0.15\%W \quad (45)$$

Bajo influencia del índice (I_{pdc}), la Humedad (%W) y la Densidad (γ_s) con $R=0.96$ que expresa la existencia de un grado de correlación MUY ALTA y $R^2=0.92$ quiere decir que el 92% del valor de CBR es explicada por las variables predictoras I_{pdc} , %W y γ_s .

$$CBR = 18.12 - 0.15I_{pdc} - 0.10\%W - 3.84\gamma_s \quad (46)$$

La ecuación de correlación calibrada para determinar la capacidad de soporte californiana (CBR) en suelos Arenosos entre ellos (Arenas bien graduadas **SW** y arenas pobremente graduada **SP**) es la siguiente expresión:

Bajo influencia del índice (I_{pdc}) y la humedad (%W) con $R=0.77$ que expresa la existencia de un grado de correlación ALTA y $R^2=0.59$ quiere decir que el 59% del valor de CBR es explicada por las variables predictoras I_{pdc} y %W.

$$CBR = 33.72 - 0.03Ipdc - 0.21\%W \quad (47)$$

Bajo influencia del índice (Ipdc), la Humedad (%W) y la Densidad (γ_s) con $R=0.95$ que expresa la existencia de un grado de correlación MUY ALTA y $R^2=0.90$ quiere decir que el 90% del valor de CBR es explicada por las variables predictoras Ipdc, %W y γ_s . Claramente se muestra que en suelos arenosos la humedad altera significativamente la determinación del CBR, pero cuando se asocia con la densidad es mucho más la precisión y bondad de ajuste.

$$CBR = -32 - 0.60Ipdc - 0.57\%W + 37.53\gamma_s \quad (48)$$

A través de la prueba de hipótesis planteada y verificada para los dos tipos de suelos mediante la prueba de T-Student, se precisa claramente que entre los resultados observados del valor de CBR en laboratorio ya sea sobre suelos finos y arenosos y los resultados obtenidos mediante las ecuación calibradas, no existen diferencia significativa por lo tanto es confiable su aplicación de las fórmulas matemáticas a excepción de la ecuación **47** en suelos arenosos se descarta su uso por la diferencia significativa que presenta.

Ya que la ecuación **(45)**, **(46)** y **(48)** son aceptables estadísticamente. Recurrimos al grado de correlación y la bondad de ajuste. Estos parámetros nos ofrecen mayor confiabilidad expresando que las ecuaciones más confiables en su uso corresponden al **(46)** y **(48)**, los cuales tienen como variables predictoras al Ipdc, Humedad del suelo %W y Densidad natural (γ_s). Siendo su aplicación válida únicamente en la zona de estudio.

La determinación del índice de Penetración Dinámica de Cono fue indispensable para la calibración de la ecuación de correlación ya que este parámetro ayuda a explicar la ecuación de correlación considerablemente. Este parámetro tiene un comportamiento proporcional a la densidad del suelo. A mayor densidad, menor profundidad de penetración por golpe en suelos arenosos y en suelos finos a mayor grado de humedad mayor penetración por golpe. De igual forma se ha visto el comportamiento de la penetración del cono de PDC siendo menor Ipdc a mayor resistencia del suelo y esto se muestra en los resultados de laboratorio.

Se ha observado el valor de la capacidad de soporte california (CBR) sobre muestras inalteradas para el caso de los suelos finos y sobre muestras remoldadas en suelos arenosos bajo humedad y densidad natural in situ. Tal como se muestra en los anexos,

estos resultados han permitido correlacionar la misma con las variables predictoras como el I_{pdc} , %W y γ_s .

Con respecto a la variabilidad de los resultados del CBR del suelo obtenidos entre el ensayo convencional y mediante las fórmulas de correlación planteadas. Se observa claramente que cuando la ecuación está solamente en función del I_{pdc} y %W no explican significativamente la determinación del CBR. Pero cuando la ecuación de correlación está en función del I_{pdc} , %W y γ_s explican con mayor exactitud la determinación de la capacidad de soporte californiana (CBR) del suelo. Tal es el caso que estos resultados se pueden precisar con el coeficiente de correlación de Pearson (R) y la bondad de ajuste entre estas variables (R^2).

5.2. RECOMENDACIONES

Se recomienda el uso de las ecuaciones de correlación calibradas mediante el resultado de la presente investigación, únicamente para el tipo de suelo clasificados como suelos finos (**ML, CL, MH**) y suelos arenosos (**SW y SP**), siendo aplicativos únicamente en la zona de estudio.

Se recomienda hacer uso de las ecuaciones (46) y (48) los cuales tienen como variables predictoras al I_{pdc} , Humedad del suelo %W y Densidad natural (γ_s).

Siendo indispensable el ensayo de Penetración Dinámica de Cono (PDC) del cual se determina el I_{pdc} , es recomendable realizar por lo menos 3 pruebas en el punto de estudio, del cual se puede seleccionar los resultados que sean similares o parecidos en función del I_{pdc} (mm/golp) o ser descartado según como muestra el perfil estratigráfico en su exploración.

Para determinar la densidad natural in situ, hacer uso de moldes de sección conocida de preferencia circular y determinar la humedad de la misma muestra extraída en el molde.

Si el caso fuera aplicar la ecuación de correlación en la determinación del valor de la capacidad de Soporte California (CBR). Lo primero que debe de hacer el operador técnico es la exploración, identificación del tipo de suelo visualmente, determinar la densidad natural y humedad que contiene el suelo de interés, realizar el ensayo de PDC y clasificar el tipo de suelo que corresponde para afirmar el correcto uso de la metodología planteada.

BIBLIOGRAFÍA

- Amadi, A.A., Sadiku, S., Abdullai, M., y Danyaya, H.A. (2018) Case study of construction quality control monitoring and strength evaluation of a lateritic pavement using the dynamic cone penetrometer. *International Journal of Paviment Research and Technology*. <https://doi.org/10.1016/j.ijprt.2018.07.001>.
- American Psychological Association (2002). *Manual de publicaciones de la American Psychological Association (Sexta edición)*. México, D.F.: Editorial El Manual Moderno.
- Amini, F. (2003). *Potential Applications of Dynamic and Static Cone Penetrometer in mdot Pavement Desing and Construcction (Undergraduate Thesis)*. Jaskson State University, Jackson, Mississippi.
- Apaza Pinto, Y. (2017). *Estimación del parámetro de resistencia al corte, ángulo de fricción en suelos granulares mediante ensayos de escala reducida. (Tesis de pregrado)*. Universidad Peruana Unión, Juliaca.
- Apaza Quenaya, S. (2014). *Determinación de la capacidad de soporte para los tipos de suelos de la subrasante a partir de ensayos PDC de manera económica y confiable, aplicado en el campus de la Universidad Peruana Unión (UPeU) – Villa Chullunquiani, (Tesis de pregrado)*. Universidad Peruana Unión, Juliaca, Perú.
- ASTM Especial Technical Publicacion #399. *Dynamic Cone for Shallow In – Situ Penetration Testing*.
- Bausela, E. (2005). SPSS: Un instrumento de análisis de datos cuantitativos. *Revista de Informática Educativa y Medios Audiovisuales*. Volumen 2(4), págs. 62-69. Recuperado de <http://laboratorios.fi.uba.ar/lie/Revista/Articulos/020204/A3mar2005.pdf>.
- Bermúdez, D., Vásquez, O. (2016). *Validación del Método de DCP aplicado en campo en relación al ensayo CBR en laboratorio*.
- Borja, M. (2012). *Metodología de la Investigación Científica para Ingenieros*. Primera edición. Volumen 01. Chiclayo, Perú.
- Braja M. Das. (2012). *Fundamentos de Ingeniería de Cimentaciones*, Séptima Edición, ISBN: 987-607-481-923-9
- Cardona, D., Gonzáles, J., Rivera, M., Cárdenas, E. (2013). *Inferencias Estadística Módulo de regresión Lineal Simple*. Universidad del Rosario.
- Changho, L., Kyu, S., Wontaek, W., Woojin, L. (2013). *Soil Stiffness Gauge (SSG) and Dynamic Cone Penetrometer (DCP) tests for estimating engineering properties of weathered sandy soils in Koera*, volumen 169, 91-99.
- Damodar, N. & Dawn C. (2009). *Econometría*. México, McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
- Gutiérrez, H., & de la Vara S. (2008). *Análisis y diseño de experimentos*. Colonia Desarrollo Santa Fe, México: McGRAW-Will/Interamericana Editores, S.A. de C.V.

- Hamed Mousavi, S., Mohammed, A., y Borden, H. (2018). Resilient modulus prediction of soft low-plasticity Piedmont residual soil using dynamic cone penetrometer. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, xxx, 1 – 10.
- I.N.V.E – 172 – 07. Método de Ensayo Normal para el uso del Penetrómetro Dinámico de Cono en Aplicaciones de Pavimentos a Poca Profundidad.
- Injante, H. (2012). Resistencia in situ de subrasante utilizando penetrómetro dinámico de cono en la ciudad de Ica (Tesis Maestría). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2016). Manual de Ensayo de Materiales.
- Moya R., Saravia G. (2007). Probabilidad e Inferencia estadística. Segunda Edición. Lima Perú. Editorial San Marcos.
- Mukesh A, S., Patel, H., y Gautan, D. (2013). Prediction of Subgrade Strength Parameters from Dynamic Cone Penetrometer Index, Modified Liquid Limit and Moisture Content. 2nd Conference of Transportation Research Group of India (2nd CTRG), 104, 245 – 254.
- Nawal, A. (2014) Pavement Performance Monitoring Using Dynamic Cone Penetrometer and Geogauge During Construction, the University of Texas at Arlington.
- Osorio, J., Casa, A. (2011). Correlación P.D.C. con C.B.R. Para suelos en la Localidad de Suba. Bogotá Colombia, universidad militar nueva granada.
- Paucar, L. (2011 - 2012). Determinación de la ecuación de correlación entre los ensayos de CBR de laboratorio y PDC in situ para los tipos de suelos de la subrasante de la vía Riobamba – Alausi (Tesis Pregrado). Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
- Pérez J. (2012) Conceptos Generales de la Mecánica del Suelo. E.T.S. Arquitectura de A Coruña. Departamento de Tecnología de la Construcción.
- Plan de Desarrollo Urbano (2016 – 2025). Municipalidad Provincial de San Román, Juliaca. Puno.
- Sanchez F. (1984). Pavimentos: Fundamentos Teóricos Guías para el Diseño. Primera Edición. Bogotá Colombia.
- Sanchez, A., & Pérez, S. (2017). Estudio Comparativo de los Ensayos California Bearing Ratio (CBR) de Laboratorio y Penetración Dinámica de Cono (PDC) en la Localidad de Picsi (Tesis Pregrado). Pimentel, Perú.
- Sánchez, R.A., (2015). T-Student. Usos y abusos, volumen 26, 59-61. Recuperado de <http://www.medigraphic.com/pdfs/cardio/h-2015/h151i.pdf>
- Suares, J. (2012) Deslizamientos: Análisis Geotécnico
- Sullivan, R. (2015). User guide to the Dynamic Cone Penetrometer, Office of Minnesota Road Research.
- Tomás, R., Cano, M., García-Barba, J., Santamarta, J.C., Hernández, L.E., Rodríguez, J.A., Zamora, R. (2013). Prácticas de Ingeniería del Terreno. Universidades de Alicante y de La Laguna. <http://web.ua.es/es/ginter/> ó <http://ocw.ull.es/> (Julio 2018). License: Creative Commons BY-NC-SA.

Universidad Militar Nueva Granada. (2015) Laboratorio de Mecánica de Suelos. Guía para la ejecución de ensayos en mecánica de suelos. Recuperado de <http://mecanicadesuelosumng.weebly.com/praacutectica-n-4-ensayo-de-contenido-de-humedad-y-peso-unitario.html#/>

Universidad Peruana Unión. (2015) Guía de Laboratorio de Mecánica de Suelos.

Valle, R.R. (1982). Carreteras, Calles y Aeropistas. Buenos Aires, Argentina: Editorial e inmobiliaria, florida.

Velarde, A. (2015). Aplicación de la Metodología de Superficie de respuesta en la determinación de la Resistencia a la compresión simple de suelos arcillosos estabilizados con cal y cemento (Tesis Pregrado). Puno, Perú.

Viscarra, A. (2005 - 2006). El cono dinámico de penetración y su aplicación en la evaluación de suelos. Bolivia: Universidad Privada Boliviana.

ANEXOS

ANEXO A: PANEL FOTOGRÁFICO



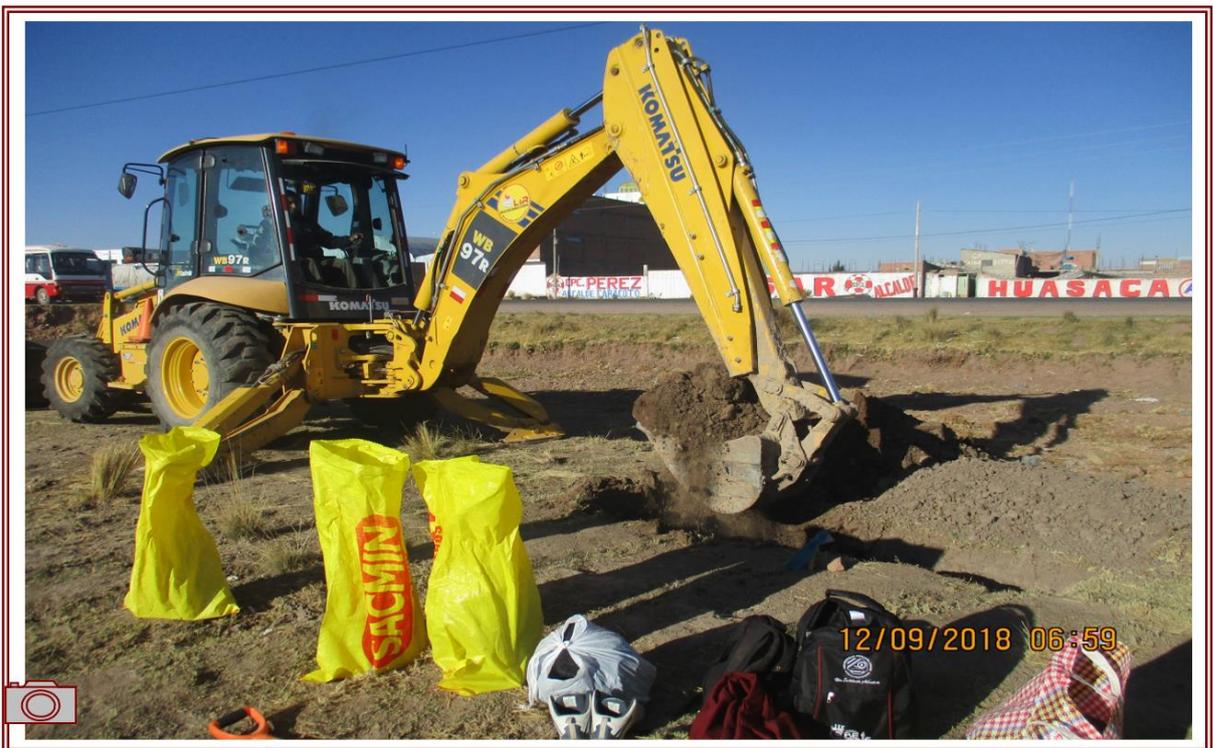
Fotografía 1. Trazo y excavación en las calicatas a $0.50 \pm 0.10\text{m}$ de profundidad.



Fotografía 2. Ensayo de Penetración Dinámica de Cono con tres pruebas por calicatas.



Fotografía 3. Exploración manual y registro del perfil estratigráfico en calicatas.



Fotografía 4. Excavación en calicatas con maquinaria para extracción de muestras inalteradas de ensayo de CBR.



Fotografía 5. Extracción de muestras inalteradas en moldes de CBR bajo presencia del N.F.



Fotografía 6. Extracción de muestras inalteradas en moldes de CBR sin presencia del N.F.



Fotografía 7. Traslado de muestra inalterada protegida al laboratorio para su posterior ensayo.



Fotografía 8. Muestras alteradas para el ensayo de CBR remoldeado en laboratorio.



Fotografía 9. Secado de muestras al aire libre, para ensayo de CBR remoldeado.



Fotografía 10. Ensayo de densidad natural del suelo aplicado en arenas in situ.



Fotografía 11. Enrasado y embalado de las muestras inalteradas para ensayo de CBR.



Fotografía 12. Estimación del peso y volumen de las muestras extraídos en campo para su respectiva densidad.



Fotografía 13. Preparación de muestras en suelos arenosos para el ensayo de Proctor a humedad y densidad de campo.



Fotografía 14. Compactación del suelo remoldeado a humedad y densidad de campo.



Fotografía 15. Muestras remoldeadas para ensayo de CBR en prensa de penetración comprobada su densidad en estado suelto y compacto.



Fotografía 16. Ensayo de CBR sobre muestra remoldada en laboratorio en prensa de CBR.



Fotografía 17. Lavado de muestras para ensayo de granulometría mediante tamizado.



Fotografía 18. Ensayo de granulometría para suelos finos y arenosos mediante tamizado.



Fotografía 19. Ensayo de límites de consistencia "Límite Líquido" y "Límite Plástico".



Fotografía 20. Determinación del contenido de humedad de los suelos de interés.

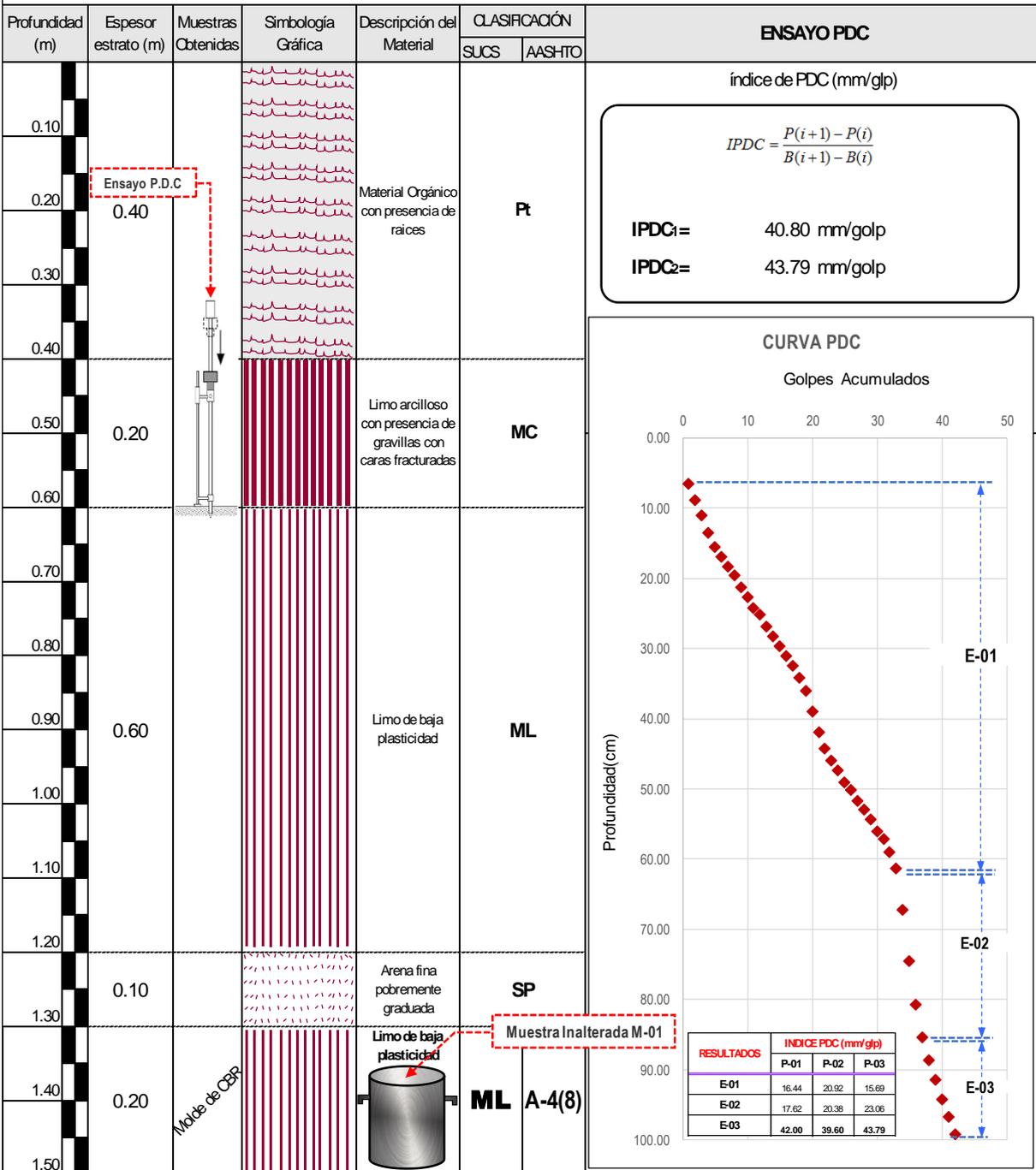
ANEXO B: ENSAYOS DE CAMPO Y LABORATORIO

ANEXO B-1: EXPLORACIÓN DE CALICATAS Y ENSAYO DE PENETRACIÓN DINÁMICA DE CONO

EXPLORACIÓN DE SUELOS / ENSAYO DE P.D.C.

NORMA: ASTM D 420 / MTCE101 - 2000 / D 6951 - 09

Proyecto: Calibración de la Ecuación de Correlación entre el P.D.C y C.B.R. bajo incidencia de la humedad, en Suelos a Nivel de la Subrasante caso de estudio vía Juliaca – Caracoto.
Ubicación: Juliaca - Puno - Perú
Fecha: 06/11/2018
Operador: J.O.P.N **Prof. Inicio:** -0.60m
Calicata: C-01 **Progresiva:** 0+ 125.00
Cota Superficial: 3,823.00msnm
Coordenada (E- N): 380272.00 8282621.00
Revisado por: Ing. R.L.Y.T
Profundidad Total: -1.50m



Nota: El índice de Penetración Dinámica de Cono (IPDC) ha sido tomado unicamente para el suelo de interés. La cual corresponde según estudio a una profundidad mínima de 1.50m. Para la presente investigación, se ha procurado no pasar esa profundidad.

EXPLORACIÓN DE SUELOS / ENSAYO DE P.D.C.

NORMA: ASTM D 420 / MTCE101 - 2000 / D 6951 - 09

Proyecto: Calibración de la Ecuación de Correlación entre el P.D.C y C.B.R. bajo incidencia de la humedad, en Suelos a Nivel de la Subrasante caso de estudio vía Juliaca – Caracoto.

Ubicación: Juliaca - Puno - Perú

Cota Superficial: 3,823.00msnm

Fecha : 06/11/2018

Coordenada (E- N): 380369.00 8282385.00

Operador: J.O.P.N

Prof. Inicio: -0.50m

Revisado por: Ing. R.L.Y.T

Calicata : C-02

Progresiva: 0+ 375.00

Profundidad Total: -1.50m

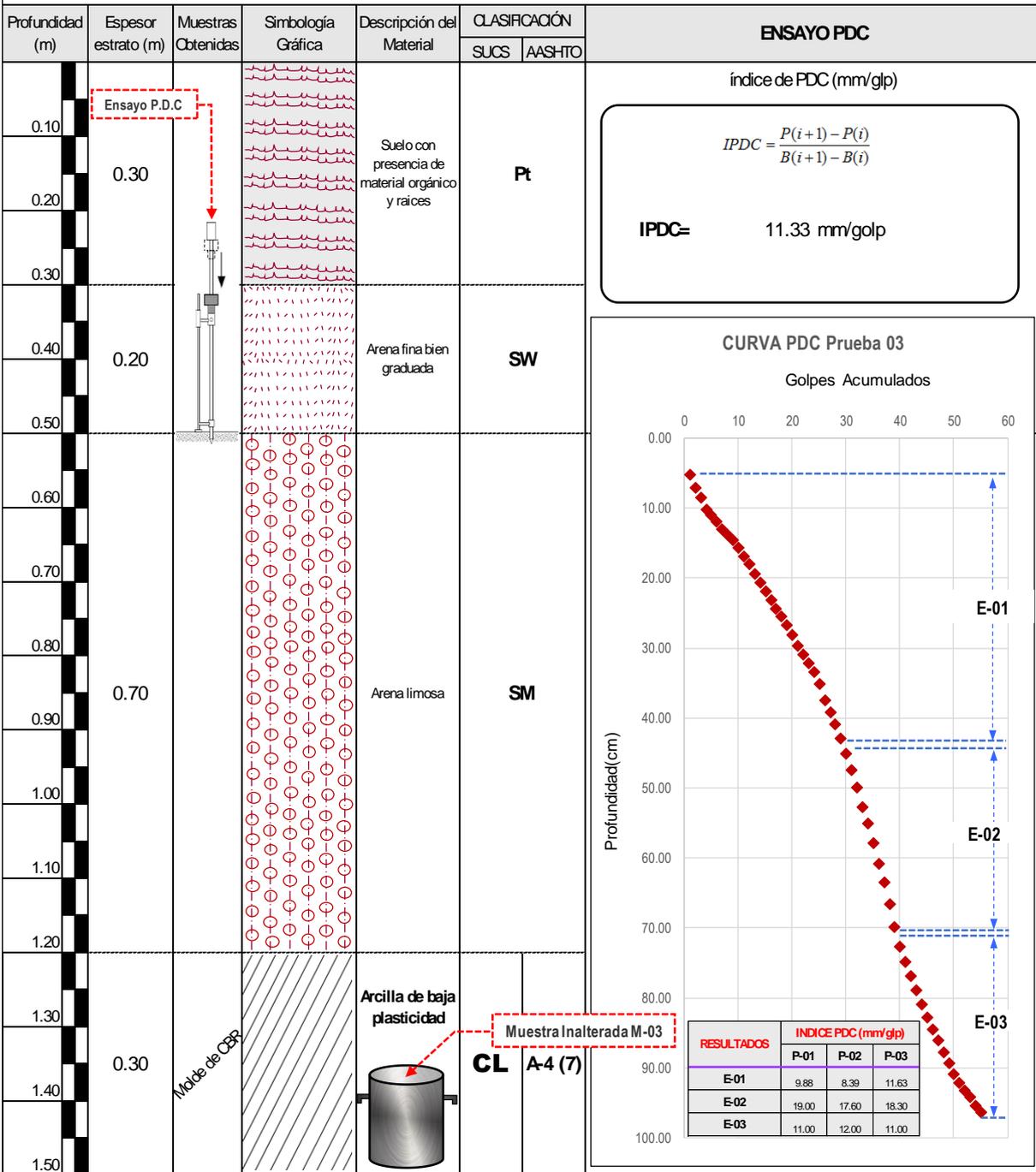
Profundidad (m)	Espesor estrato (m)	Muestras Obtenidas	Simbología Gráfica	Descripción del Material	CLASIFICACIÓN		ENSAYO PDC																
					SUCS	AASHTO																	
0.10	0.20	[Diagrama de muestra]	[Simbología]	Material Orgánico con presencia de raíces	Pt		<p>índice de PDC (mm/glp)</p> $IPDC = \frac{P(i+1) - P(i)}{B(i+1) - B(i)}$ <p>IPDC= 20.66 mm/golp</p>																
0.20																							
0.30	0.30	[Diagrama de muestra]	[Simbología]	Limo arcilloso con presencia de gravillas con caras fracturadas	MC		<p>CURVA PDC</p> <p>Golpes Acumulados</p>																
0.40																							
0.50																							
0.60	0.70	[Diagrama de muestra]	[Simbología]	Arena Limosa	SM		<table border="1"> <thead> <tr> <th>RESULTADOS</th> <th colspan="3">INDICE PDC (mm/glp)</th> </tr> <tr> <th></th> <th>P-01</th> <th>P-02</th> <th>P-03</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E-01</td> <td>25.25</td> <td>22.33</td> <td>36.92</td> </tr> <tr> <td>E-02</td> <td>22.64</td> <td>22.67</td> <td>18.67</td> </tr> </tbody> </table>	RESULTADOS	INDICE PDC (mm/glp)				P-01	P-02	P-03	E-01	25.25	22.33	36.92	E-02	22.64	22.67	18.67
RESULTADOS								INDICE PDC (mm/glp)															
								P-01	P-02	P-03													
E-01								25.25	22.33	36.92													
E-02								22.64	22.67	18.67													
0.70																							
0.80																							
0.90																							
1.00																							
1.10	0.30	Molde de CBR	[Simbología]	Limo de baja plasticidad	ML	A-4 (8)	<p>Muestra Inalterada M-02</p>																
1.20																							
1.30																							
1.40																							
1.50																							

Nota: El índice de Penetración Dinámica de Cono (IPDC) ha sido tomado unicamente para el suelo de interés. La cual corresponde según estudio a una profundidad mínima de 1.50m. Para la presente investigación, se ha procurado no pasar esa profundidad.

EXPLORACIÓN DE SUELOS / ENSAYO DE P.D.C.

NORMA: ASTM D 420 / MTCE101 - 2000 / D 6951 - 09

Proyecto: Calibración de la Ecuación de Correlación entre el P.D.C y C.B.R. bajo incidencia de la humedad, en Suelos a Nivel de la Subrasante caso de estudio vía Juliaca – Caracoto.
Ubicación: Juliaca - Puno - Perú
Fecha: 06/11/2018
Operador: J.Q.P.N **Prof. Inicio:** -0.50m
Calicata: C-03 **Progresiva:** 0+ 625.00
Cota Superficial: 3,824.00msnm
Coordenada (E- N): 380470.00 8282150.00
Revisado por: Ing. R.L.Y.T
Profundidad Total: -1.50m

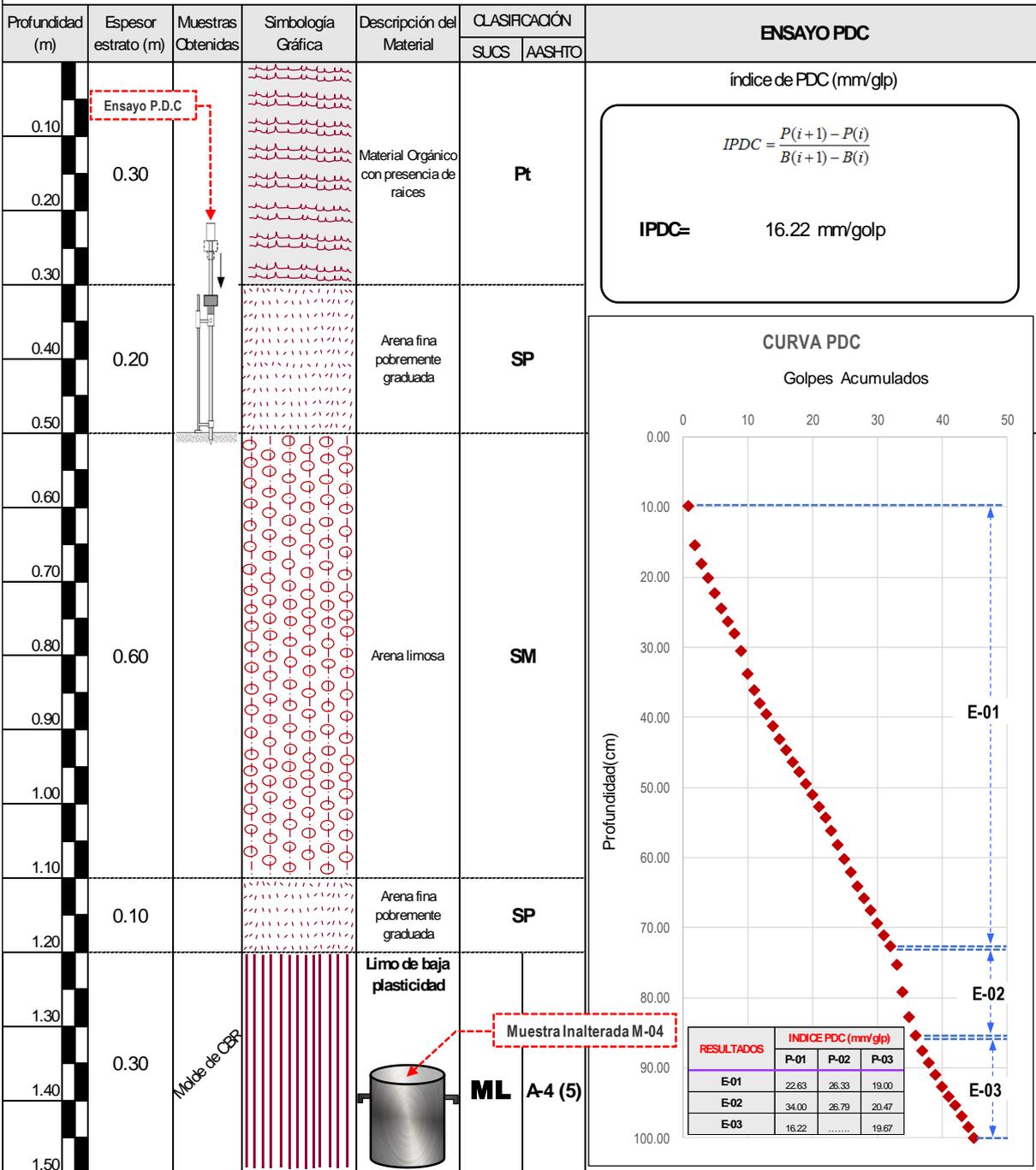


Nota: El índice de Penetración Dinámica de Cono (IPDC) ha sido tomado unicamente para el suelo de interés. La cual corresponde según estudio a una profundidad mínima de 1.50m. Para la presente investigación, se ha procurado no pasar esa profundidad.

EXPLORACIÓN DE SUELOS / ENSAYO DE P.D.C.

NORMA: ASTM D 420 / MTCE101 - 2000 / D 6951 - 09

Proyecto: Calibración de la Ecuación de Correlación entre el P.D.C y C.B.R. bajo incidencia de la humedad, en Suelos a Nivel de la Subrasante caso de estudio vía Juliaca – Caracoto.
Ubicación: Juliaca - Puno - Perú
Fecha: 06/11/2018
Operador: J.O.P.N
Calculata: C-04
Prof. Inicio: -0.50m
Progresiva: 0+ 875.00
Cota Superficial: 3,826.00msnm
Coordenada (E- N): 380571.00 8281907.00
Revisado por: Ing. R.L.Y.T
Profundidad Total: -1.50m



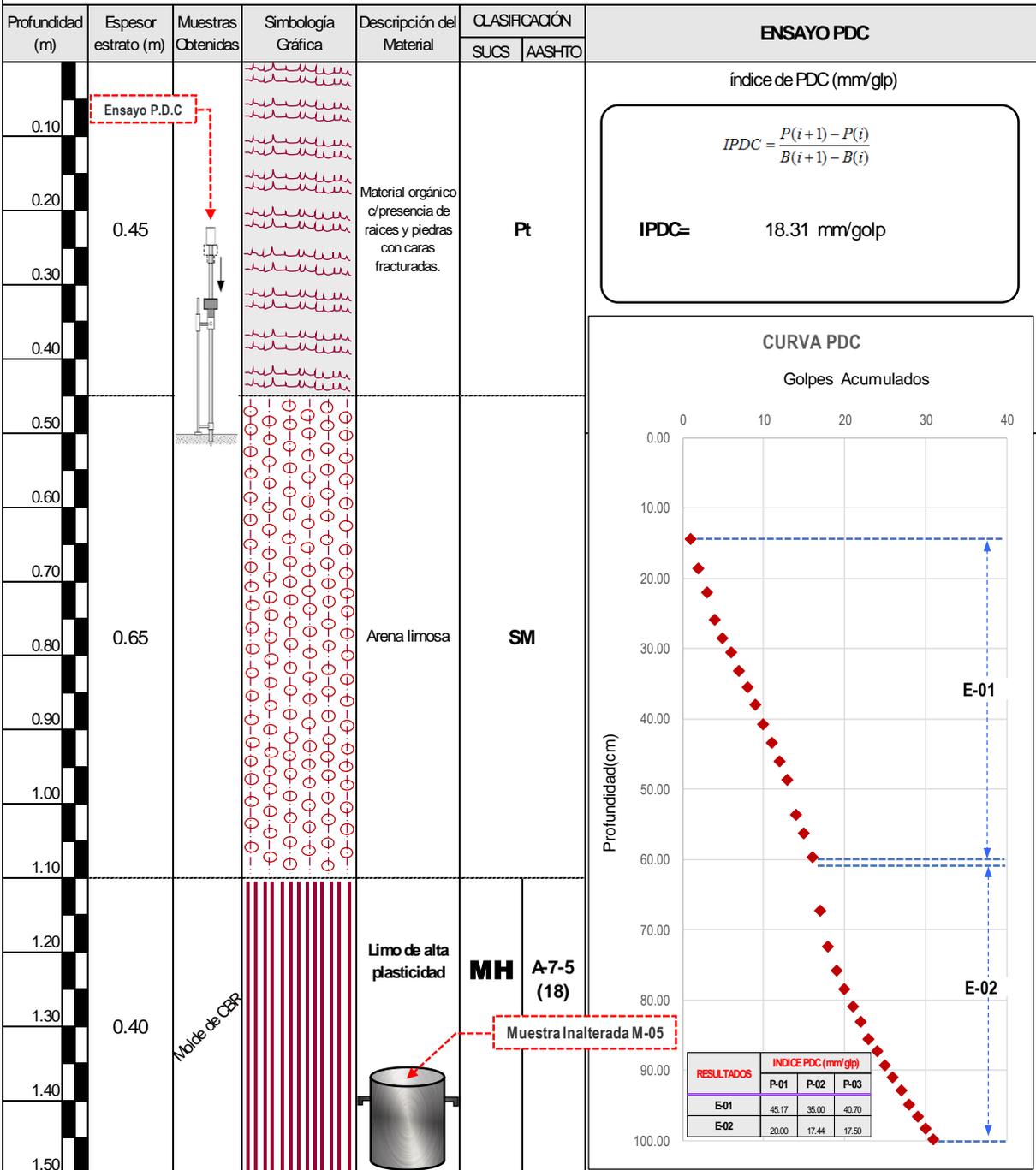
Nota: El índice de Penetración Dinámica de Cono (IPDC) ha sido tomado unicamente para el suelo de interés. La cual corresponde según estudio a una profundidad mínima de 1.50m. Para la presente investigación, se ha procurado no pasar esa profundidad.



EXPLORACIÓN DE SUELOS / ENSAYO DE P.D.C.

NORMA: ASTM D 420 / MTCE101 - 2000 / D 6951 - 09

Proyecto: Calibración de la Ecuación de Correlación entre el P.D.C y C.B.R. bajo incidencia de la humedad, en Suelos a Nivel de la Subrasante caso de estudio vía Juliaca – Caracoto.
Ubicación: Juliaca - Puno - Perú
Fecha: 06/11/2018
Operador: J.O.P.N
Calicata: C-05
Prof. Inicio: -0.50m
Progresiva: 1+ 125.00
Cota Superficial: 3,826.00msnm
Coordenada (E- N): 380670.00 8281679.00
Revisado por: Ing. R.L.Y.T
Profundidad Total: -1.50m



Nota: El índice de Penetración Dinámica de Cono (IPDC) ha sido tomado unicamente para el suelo de interés. La cual corresponde según estudio a una profundidad mínima de 1.50m. Para la presente investigación, se ha procurado no pasar esa profundidad.

EXPLORACIÓN DE SUELOS / ENSAYO DE P.D.C.

NORMA: ASTM D 420 / MTCE101 - 2000 / D 6951 - 09

Proyecto: Calibración de la Ecuación de Correlación entre el P.D.C y C.B.R. bajo incidencia de la humedad, en Suelos a Nivel de la Subrasante caso de estudio vía Juliaca – Caracoto.
Ubicación: Juliaca - Puno - Perú
Fecha: 06/11/2018
Operador: J.O.P.N **Prof. Inicio:** -0.50m
Calicata: C-06 **Progresiva:** 1+ 375.00
Cota Superficial: 3,828.00msnm
Coordenada (E- N): 380765.00 8281441.00
Revisado por: Ing. R.L.Y.T
Profundidad Total: -1.50m

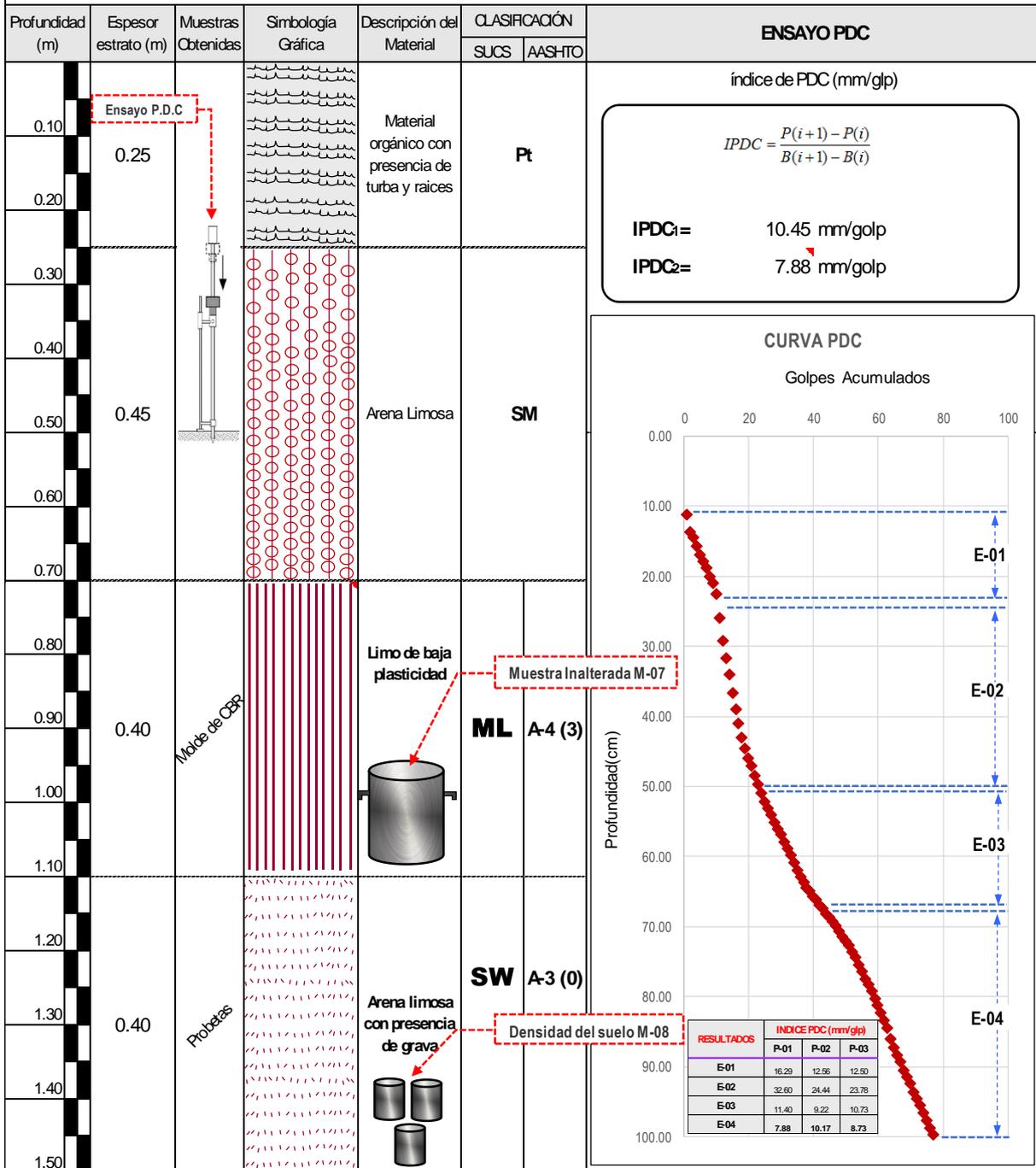
Profundidad (m)	Espesor estrato (m)	Muestras Obtenidas	Simbología Gráfica	Descripción del Material	CLASIFICACIÓN		ENSAYO PDC																											
					SUCS	AASHTO																												
0.10	0.20			Material orgánico con presencia de raíces		Pt	<p align="center">índice de PDC (mm/glp)</p> $IPDC = \frac{P(i+1) - P(i)}{B(i+1) - B(i)}$ <p>IPDC= 11.73 mm/golp</p>																											
0.20				Arcilla limoso		CM																												
0.30	0.55			Arcilla limoso		CM	<p align="center">CURVA PDC</p> <p align="center">Golpes Acumulados</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">RESULTADOS</th> <th colspan="3">INDICE PDC (mm/glp)</th> </tr> <tr> <th>P-01</th> <th>P-02</th> <th>P-03</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E-01</td> <td>31.50</td> <td>13.00</td> <td>20.75</td> </tr> <tr> <td>E-02</td> <td>9.00</td> <td>7.50</td> <td>8.04</td> </tr> <tr> <td>E-03</td> <td>9.79</td> <td>9.74</td> <td>12.25</td> </tr> <tr> <td>E-04</td> <td>22.00</td> <td>14.40</td> <td>16.57</td> </tr> <tr> <td>E-05</td> <td>11.73</td> <td>11.79</td> <td>11.67</td> </tr> </tbody> </table>	RESULTADOS	INDICE PDC (mm/glp)			P-01	P-02	P-03	E-01	31.50	13.00	20.75	E-02	9.00	7.50	8.04	E-03	9.79	9.74	12.25	E-04	22.00	14.40	16.57	E-05	11.73	11.79	11.67
RESULTADOS	INDICE PDC (mm/glp)																																	
	P-01	P-02	P-03																															
E-01	31.50	13.00	20.75																															
E-02	9.00	7.50	8.04																															
E-03	9.79	9.74	12.25																															
E-04	22.00	14.40	16.57																															
E-05	11.73	11.79	11.67																															
0.40				Arena fina bien graduada		SW																												
0.50				Arena limosa		SM																												
0.60				Arena limosa		SM																												
0.70				Arena limosa		SM																												
0.80	0.10			Arena gravosa		GC																												
0.90	0.20			Arena limosa		SM																												
1.00				Arena limosa		SM																												
1.10	0.10			Arena limosa		SM																												
1.20				Limo de baja plasticidad		ML																												
1.30	0.35	Molde de CBR		Limo de baja plasticidad		A-4 (8)																												
1.40				Limo de baja plasticidad		ML																												
1.50				Limo de baja plasticidad		ML																												

Nota: El índice de Penetración Dinámica de Cono (IPDC) ha sido tomado unicamente para el suelo de interés. La cual corresponde según estudio a una profundidad mínima de 1.50m. Para la presente investigación, se ha procurado no pasar esa profundidad.

EXPLORACIÓN DE SUELOS / ENSAYO DE P.D.C.

NORMA: ASTM D 420 / MTCE101 - 2000 / D 6951 - 09

Proyecto: Calibración de la Ecuación de Correlación entre el P.D.C y C.B.R. bajo incidencia de la humedad, en Suelos a Nivel de la Subrasante caso de estudio vía Juliaca – Caracoto.
Ubicación: Juliaca - Puno - Perú
Fecha: 06/11/2018
Operador: J.O.P.N
Calicata: C-07
Prof. Inicio: -0.50m
Progresiva: 1+ 625.00
Cota Superficial: 3,829.00msnm
Coordenada (E- N): 380871.00 8281207.00
Revisado por: Ing. R.L.Y.T
Profundidad Total: -1.50m

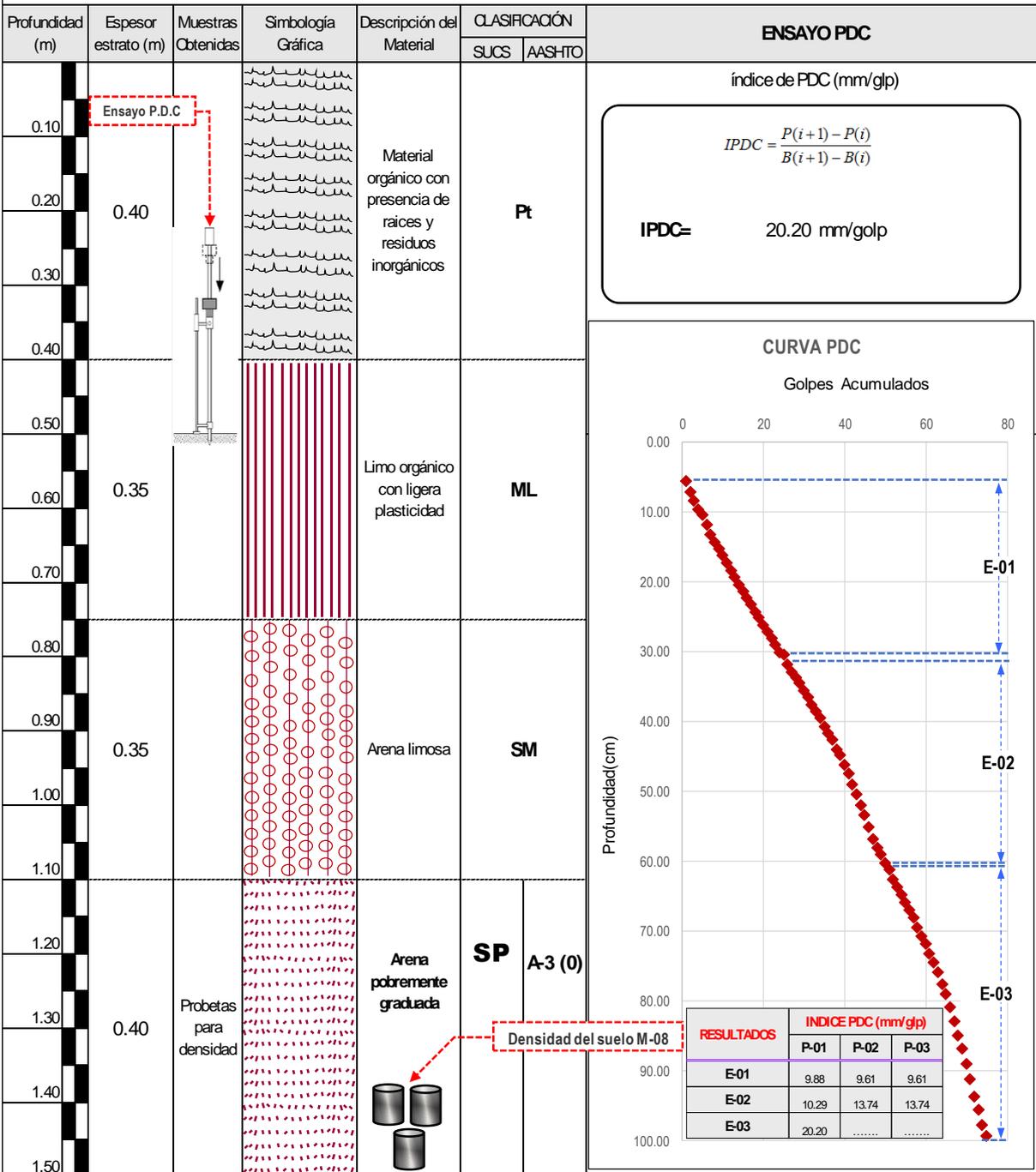


Nota: El índice de Penetración Dinámica de Cono (IPDC) ha sido tomado unicamente para el suelo de interés. La cual corresponde según estudio a una profundidad mínima de 1.50m. Para la presente investigación, se ha procurado no pasar esa profundidad.

EXPLORACIÓN DE SUELOS / ENSAYO DE P.D.C.

NORMA: ASTM D 420 / MTCE101 - 2000 / D 6951 - 09

Proyecto: Calibración de la Ecuación de Correlación entre el P.D.C y C.B.R. bajo incidencia de la humedad, en Suelos a Nivel de la Subrasante caso de estudio vía Juliaca – Caracoto.
Ubicación: Juliaca - Puno - Perú
Fecha: 06/11/2018
Operador: J.O.P.N **Prof. Inicio:** -0.50m
Calicata: C-08 **Progresiva:** 1+ 875.00
Cota Superficial: 3,830.00msnm
Coordenada (E- N): 380962.00 8280967.00
Revisado por: Ing. R.L.Y.T
Profundidad Total: -1.50m

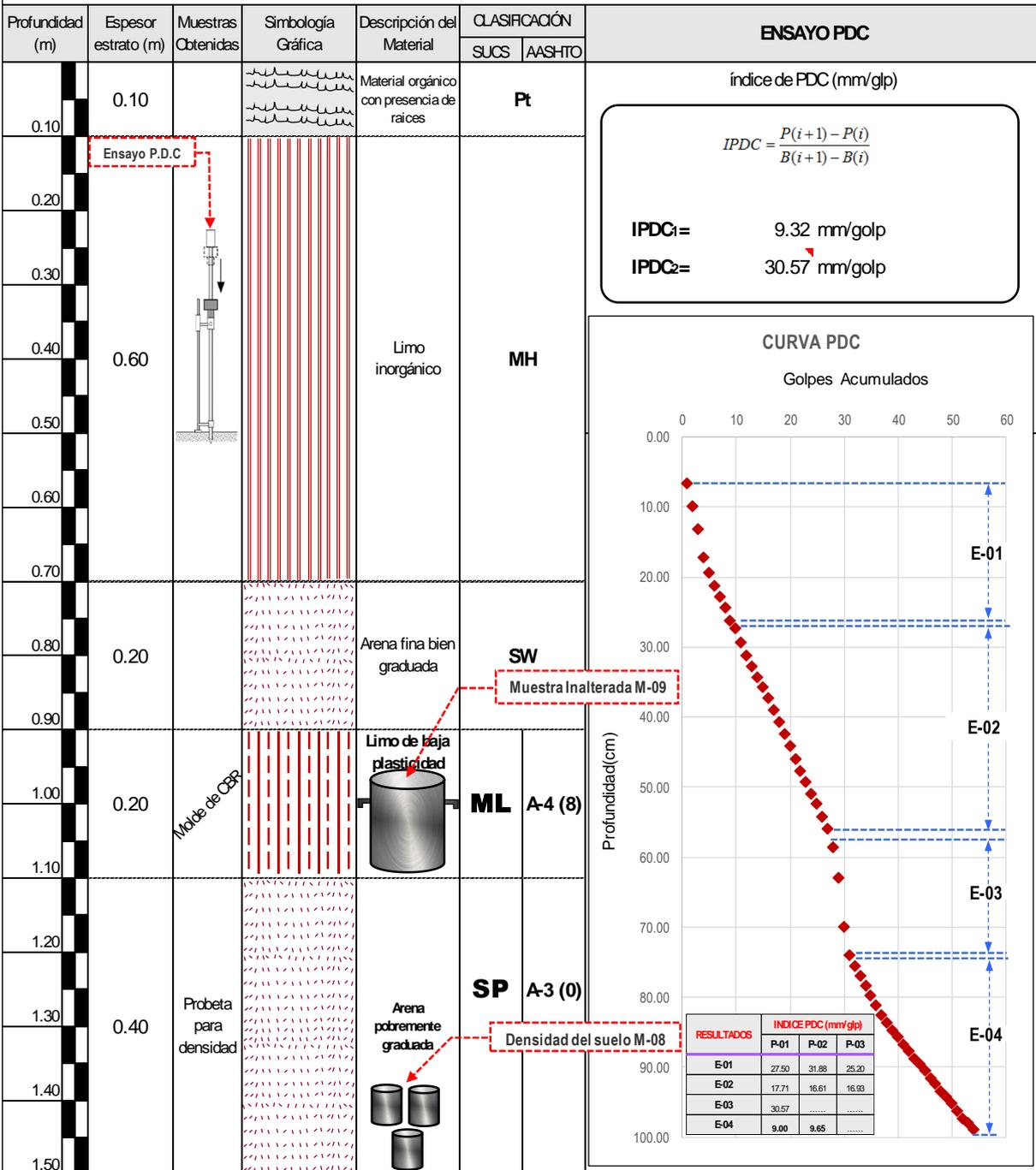


Nota: El índice de Penetración Dinámica de Cono (IPDC) ha sido tomado unicamente para el suelo de interés. La cual corresponde según estudio a una profundidad mínima de 1.50m. Para la presente investigación, se ha procurado no pasar esa profundidad.

EXPLORACIÓN DE SUELOS / ENSAYO DE P.D.C.

NORMA: ASTM D 420 / MTCE101 - 2000 / D 6951 - 09

Proyecto: Calibración de la Ecuación de Correlación entre el P.D.C y C.B.R. bajo incidencia de la humedad, en Suelos a Nivel de la Subrasante caso de estudio vía Juliaca – Caracoto.
Ubicación: Juliaca - Puno - Perú
Fecha: 06/11/2018
Operador: J.O.P.N **Prof. Inicio:** -0.50m
Calicata: C-09 **Progresiva:** 2+ 125.00
Cota Superficial: 3,826.00msnm
Coordenada (E- N): 381062.00 8280731.00
Revisado por: Ing. R.L.Y.T
Profundidad Total: -1.50m



Nota: El índice de Penetración Dinámica de Cono (IPDC) ha sido tomado unicamente para el suelo de interés. La cual corresponde según estudio a una profundidad mínima de 1.50m. Para la presente investigación, se ha procurado no pasar esa profundidad.

EXPLORACIÓN DE SUELOS / ENSAYO DE P.D.C.

NORMA: ASTM D 420 / MTCE101 - 2000 / D 6951 - 09

Proyecto: Calibración de la Ecuación de Correlación entre el P.D.C y C.B.R. bajo incidencia de la humedad, en Suelos a Nivel de la Subrasante caso de estudio vía Juliaca – Caracoto.
Ubicación: Juliaca - Puno - Perú
Fecha: 06/11/2018
Operador: J.O.P.N **Prof. Inicio:** -0.50m
Calicata: C-10 **Progresiva:** 2+ 375.00
Cota Superficial: 3,827.00msnm
Coordenada (E- N): 381164.00 8280495.00
Revisado por: Ing. R.L.Y.T
Profundidad Total: -1.50m

Profundidad (m)	Espesor estrato (m)	Muestras Obtenidas	Simbología Gráfica	Descripción del Material	CLASIFICACIÓN		ENSAYO PDC																			
					SUCS	AASHTO																				
0.10	0.25	Ensayo P.D.C		Material orgánico con presencia de raíces	Pt		<p align="center">índice de PDC (mm/glp)</p> $IPDC = \frac{P(i+1) - P(i)}{B(i+1) - B(i)}$ <p align="center">IPDC= 10.25 mm/golp</p>																			
0.20																										
0.30																										
0.40																										
0.40	0.40			Arcilla inorgánica de baja plasticidad	CL		<p align="center">CURVA PDC</p> <p align="center">Golpes Acumulados</p>																			
0.50																										
0.60																										
0.70	0.45			Arena fina bien graduada	SW		<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">RESULTADOS</th> <th colspan="3">INDICE PDC (mm/glp)</th> </tr> <tr> <th>P-01</th> <th>P-02</th> <th>P-03</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E-01</td> <td>22.23</td> <td>22.50</td> <td>22.23</td> </tr> <tr> <td>E-02</td> <td>11.22</td> <td>8.20</td> <td>11.33</td> </tr> <tr> <td>E-03</td> <td>11.22</td> <td>8.20</td> <td>11.33</td> </tr> </tbody> </table>	RESULTADOS	INDICE PDC (mm/glp)			P-01	P-02	P-03	E-01	22.23	22.50	22.23	E-02	11.22	8.20	11.33	E-03	11.22	8.20	11.33
RESULTADOS									INDICE PDC (mm/glp)																	
								P-01	P-02	P-03																
E-01								22.23	22.50	22.23																
E-02	11.22	8.20	11.33																							
E-03	11.22	8.20	11.33																							
0.80																										
0.90																										
1.00	0.40	Probetas para CBR		Arena pobremente graduada	SP	A-3 (0)	<p align="center">Densidad del suelo M-10</p>																			
1.10																										
1.20																										
1.30																										
1.40																										
1.50																										

Nota: El índice de Penetración Dinámica de Cono (IPDC) ha sido tomado unicamente para el suelo de interés. La cual corresponde según estudio a una profundidad mínima de 1.50m. Para la presente investigación, se ha procurado no pasar esa profundidad.

EXPLORACIÓN DE SUELOS / ENSAYO DE P.D.C.

NORMA: ASTM D 420 / MTCE101 - 2000 / D 6951 - 09

Proyecto: Calibración de la Ecuación de Correlación entre el P.D.C y C.B.R. bajo incidencia de la humedad, en Suelos a Nivel de la Subrasante caso de estudio vía Juliaca – Caracoto.
Ubicación: Juliaca - Puno - Perú
Fecha: 06/11/2018
Operador: J.O.P.N
Calicata: C-11
Prof. Inicio: -0.50m
Progresiva: 2+ 625.00
Cota Superficial: 3,826.00msnm
Coordenada (E- N): 381262.00 8280257.00
Revisado por: Ing. R.L.Y.T
Profundidad Total: -1.50m

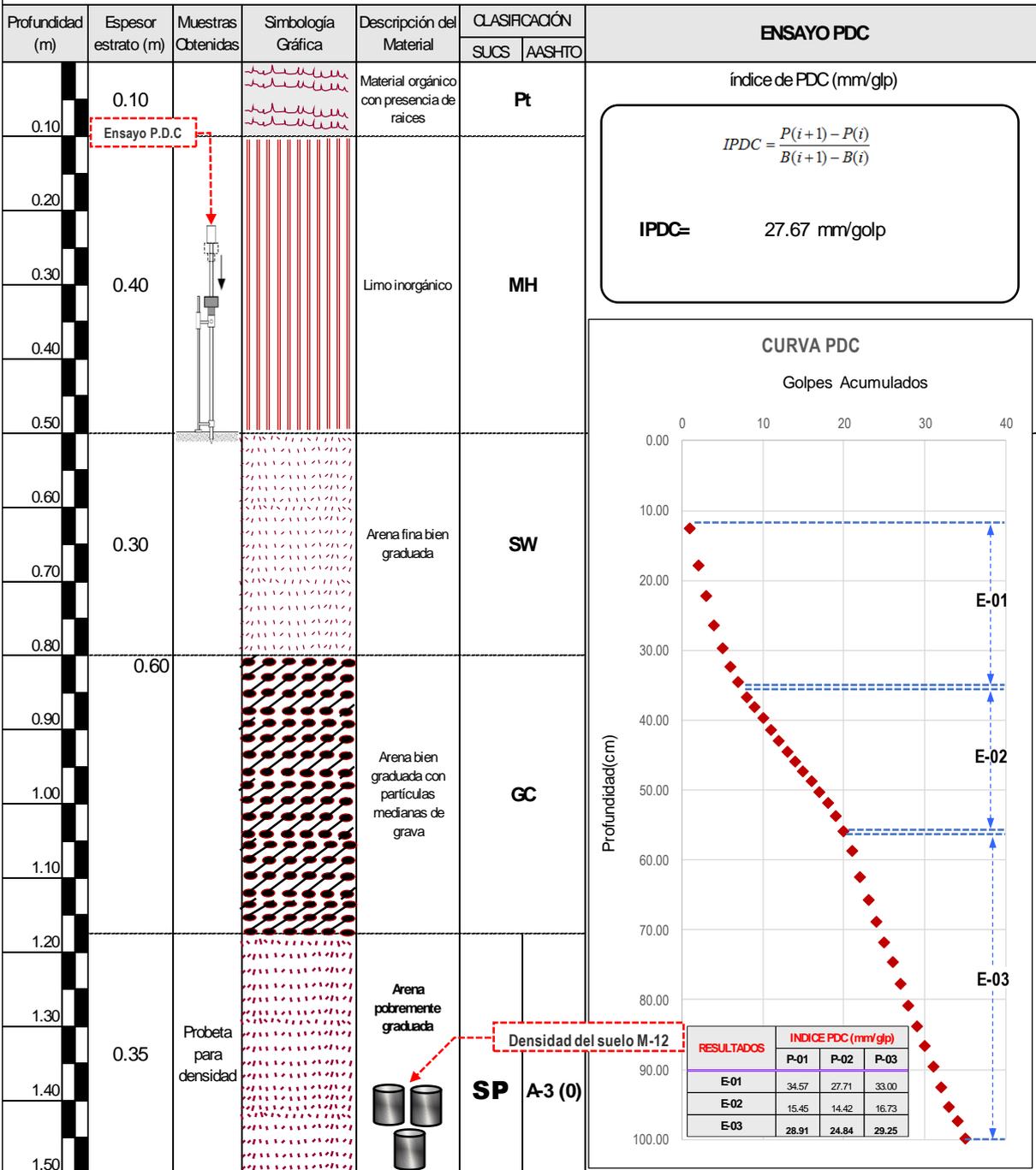
Profundidad (m)	Espesor estrato (m)	Muestras Obtenidas	Simbología Gráfica	Descripción del Material	CLASIFICACIÓN		ENSAYO PDC																							
					SUCS	AASHTO																								
0.10	0.20	Ensayo P.D.C		material orgánico con presencia de raíces	Pt		<p>índice de PDC (mm/glp)</p> $IPDC = \frac{P(i+1) - P(i)}{B(i+1) - B(i)}$ <p>IPDC= 11.58 mm/golpe</p>																							
0.20																														
0.30	0.30			Arena Limosa	SM		<p>CURVA PDC</p> <p>Golpes Acumulados</p>																							
0.40																														
0.50																														
0.60	0.25			Limo arcilloso	MC																									
0.70																														
0.80	0.30			Arcilla limosa de alta plasticidad	ML																									
0.90																														
1.00	0.15			Arena pobremente graduada	SP	A-3 (0)	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">RESULTADOS</th> <th colspan="3">INDICE PDC (mm/glp)</th> </tr> <tr> <th>P-01</th> <th>P-02</th> <th>P-03</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E-01</td> <td>15.14</td> <td>15.57</td> <td>15.57</td> </tr> <tr> <td>E-02</td> <td>7.06</td> <td>7.00</td> <td>7.00</td> </tr> <tr> <td>E-03</td> <td>10.37</td> <td>10.37</td> <td>10.37</td> </tr> <tr> <td>E-04</td> <td>11.58</td> <td>11.58</td> <td>11.58</td> </tr> </tbody> </table>	RESULTADOS	INDICE PDC (mm/glp)			P-01	P-02	P-03	E-01	15.14	15.57	15.57	E-02	7.06	7.00	7.00	E-03	10.37	10.37	10.37	E-04	11.58	11.58	11.58
RESULTADOS									INDICE PDC (mm/glp)																					
	P-01	P-02	P-03																											
E-01	15.14	15.57	15.57																											
E-02	7.06	7.00	7.00																											
E-03	10.37	10.37	10.37																											
E-04	11.58	11.58	11.58																											
1.10	0.30	Molde de CBR		Muestra Inalterada M-11																										
1.20																														
1.30	0.30																													
1.40																														
1.50																														

Nota: El índice de Penetración Dinámica de Cono (IPDC) ha sido tomado unicamente para el suelo de interés. La cual corresponde según estudio a una profundidad mínima de 1.50m. Para la presente investigación, se ha procurado no pasar esa profundidad.

EXPLORACIÓN DE SUELOS / ENSAYO DE P.D.C.

NORMA: ASTM D 420 / MTCE101 - 2000 / D 6951 - 09

Proyecto: Calibración de la Ecuación de Correlación entre el P.D.C y C.B.R. bajo incidencia de la humedad, en Suelos a Nivel de la Subrasante caso de estudio vía Juliaca – Caracoto.
Ubicación: Juliaca - Puno - Perú
Fecha: 06/11/2018
Operador: J.O.P.N **Prof. Inicio:** -0.50m
Calicata: C-12 **Progresiva:** 2+ 875.00
Cota Superficial: 3,828.00msnm
Coordenada (E- N): 381378.00 8280001.00
Revisado por: Ing. R.L.Y.T
Profundidad Total: -1.75m

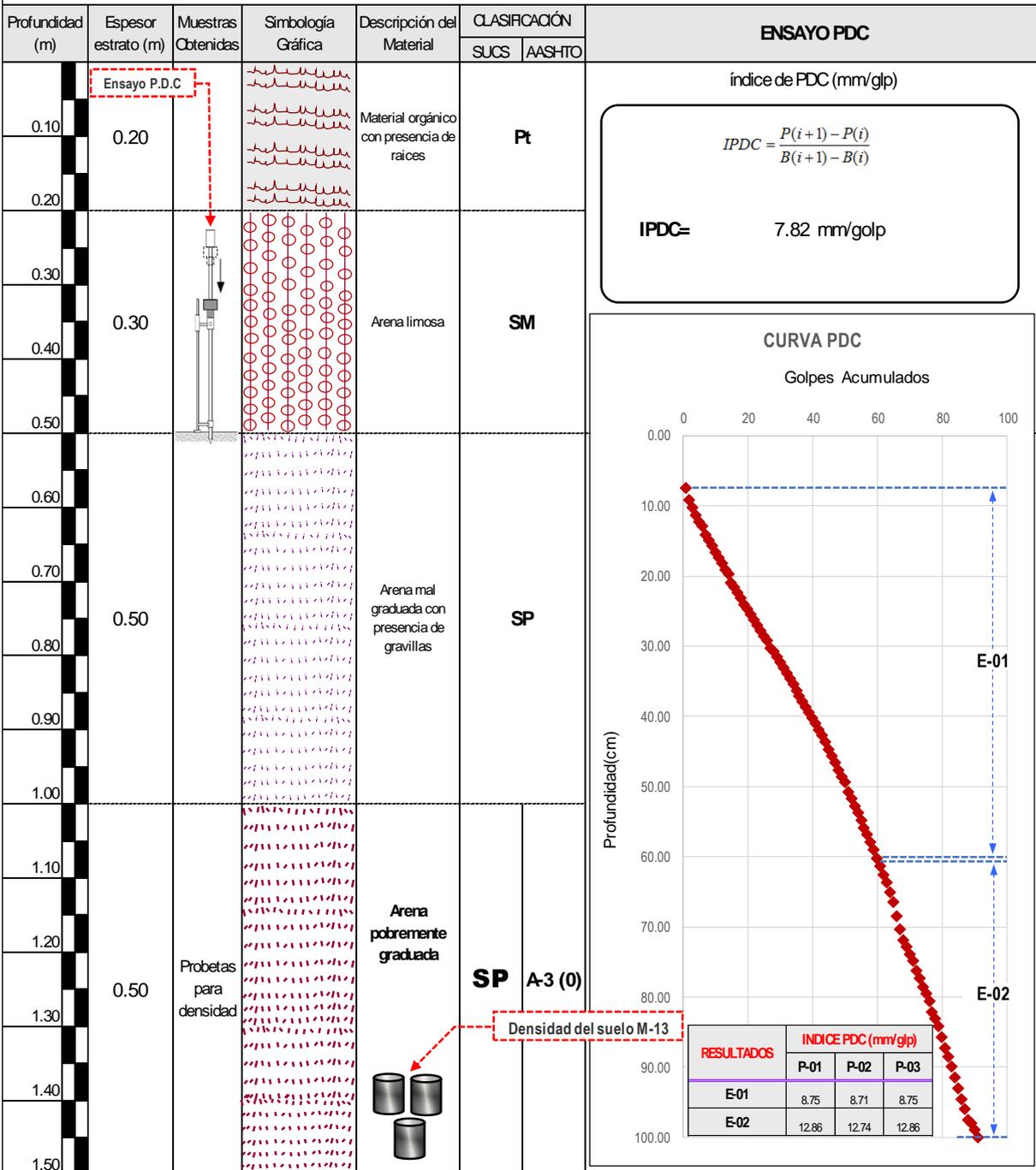


Nota: El índice de Penetración Dinámica de Cono (IPDC) ha sido tomado unicamente para el suelo de interés. La cual corresponde según estudio a una profundidad mínima de 1.50m. Para la presente investigación, se ha procurado no pasar esa profundidad.

EXPLORACIÓN DE SUELOS / ENSAYO DE P.D.C.

NORMA: ASTM D 420 / MTCE101 - 2000 / D 6951 - 09

Proyecto: Calibración de la Ecuación de Correlación entre el P.D.C y C.B.R. bajo incidencia de la humedad, en Suelos a Nivel de la Subrasante caso de estudio vía Juliaca – Caracoto.
Ubicación: Juliaca - Puno - Perú
Fecha: 06/11/2018
Operador: J.O.P.N **Prof. Inicio:** -0.50m
Calicata: C-13 **Progresiva:** 3+ 125.00
Cota Superficial: 3,825.00msnm
Coordenada (E- N): 381476.00 8279763.00
Revisado por: Ing. R.L.Y.T
Profundidad Total: -1.50m



Nota: El índice de Penetración Dinámica de Cono (IPDC) ha sido tomado unicamente para el suelo de interés. La cual corresponde según estudio a una profundidad mínima de 1.50m. Para la presente investigación, se ha procurado no pasar esa profundidad.

EXPLORACIÓN DE SUELOS / ENSAYO DE P.D.C.

NORMA: ASTM D 420 / MTCE101 - 2000 / D 6951 - 09

Proyecto: Calibración de la Ecuación de Correlación entre el P.D.C y C.B.R. bajo incidencia de la humedad, en Suelos a Nivel de la Subrasante caso de estudio vía Juliaca – Caracoto.
Ubicación: Juliaca - Puno - Perú
Fecha: 06/11/2018
Operador: J.O.P.N
Calculata: C-14
Prof. Inicio: -0.50m
Progresiva: 3+ 375.00
Cota Superficial: 3,827.00msnm
Coordenada (E- N): 381579.00 8279528.00
Revisado por: Ing. R.L.Y.T
Profundidad Total: -1.50m

Profundidad (m)	Espesor estrato (m)	Muestras Obtenidas	Simbología Gráfica	Descripción del Material	CLASIFICACIÓN		ENSAYO PDC																			
					SUCS	AASHTO																				
0.10	0.10	Ensayo P.D.C		Material orgánico y turbas	Pt		<p align="center">índice de PDC (mm/glp)</p> $IPDC = \frac{P(i+1) - P(i)}{B(i+1) - B(i)}$ <p>IPDC= 14.19 mm/golp</p>																			
0.20	0.40			Limo inorgánico de plasticidad media	MH																					
0.30					GM																					
0.40																										
0.50	0.15		Grava limosa	GM																						
0.60				SM																						
0.70																										
0.80	0.60		Arena limosa	SM																						
0.90																										
1.00																										
1.10																										
1.20																										
1.30	0.25	Probetas para densidad		Arena pobremente graduada	SP A-3 (0)		<p align="center">CURVA PDC</p> <p align="center">Golpes Acumulados</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">RESULTADOS</th> <th colspan="3">INDICE PDC (mm/glp)</th> </tr> <tr> <th>P-01</th> <th>P-02</th> <th>P-03</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E-01</td> <td>11.00</td> <td>14.71</td> <td>11.00</td> </tr> <tr> <td>E-02</td> <td>20.90</td> <td>22.50</td> <td>20.90</td> </tr> <tr> <td>E-03</td> <td>14.82</td> <td>12.94</td> <td>14.82</td> </tr> </tbody> </table>	RESULTADOS	INDICE PDC (mm/glp)			P-01	P-02	P-03	E-01	11.00	14.71	11.00	E-02	20.90	22.50	20.90	E-03	14.82	12.94	14.82
RESULTADOS					INDICE PDC (mm/glp)																					
					P-01	P-02		P-03																		
E-01	11.00	14.71	11.00																							
E-02	20.90	22.50	20.90																							
E-03	14.82	12.94	14.82																							
1.40																										
1.50																										

Nota: El índice de Penetración Dinámica de Cono (IPDC) ha sido tomado unicamente para el suelo de interés. La cual corresponde según estudio a una profundidad mínima de 1.50m. Para la presente investigación, se ha procurado no pasar esa profundidad.

EXPLORACIÓN DE SUELOS / ENSAYO DE P.D.C.

NORMA: ASTM D 420 / MTCE101 - 2000 / D 6951 - 09

Proyecto: Calibración de la Ecuación de Correlación entre el P.D.C y C.B.R. bajo incidencia de la humedad, en Suelos a Nivel de la Subrasante caso de estudio vía Juliaca – Caracoto.
Ubicación: Juliaca - Puno - Perú
Fecha: 06/11/2018
Operador: J.O.P.N **Prof. Inicio:** -0.50m
Calicata: C-15 **Progresiva:** 3+ 625.00
Cota Superficial: 38,829.00msnm
Coordenada (E- N): 381680.00 8279292.00
Revisado por: Ing. R.L.Y.T
Profundidad Total: -1.50m

Profundidad (m)	Espesor estrato (m)	Muestras Obtenidas	Simbología Gráfica	Descripción del Material	CLASIFICACIÓN		ENSAYO PDC																			
					SUCS	AASHTO																				
0.10	0.35	Ensayo P.D.C		Material orgánico con presencia de raíces	Pt		<p>índice de PDC (mm/glp)</p> $IPDC = \frac{P(i+1) - P(i)}{B(i+1) - B(i)}$ <p>IPDC= 17.44 mm/glp</p>																			
0.20																										
0.30																										
0.40																										
0.50	0.75			Arcilla limosa orgánica de baja plasticidad	CL		<p>CURVA PDC</p> <p>Golpes Acumulados</p>																			
0.60																										
0.70																										
0.80																										
0.90																										
1.00																										
1.10	0.20	Probetas para densidad		Arena fina bien graduada	SW		<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">RESULTADOS</th> <th colspan="3">INDICE PDC (mm/glp)</th> </tr> <tr> <th>P-01</th> <th>P-02</th> <th>P-03</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E-01</td> <td>24.69</td> <td>21.71</td> <td>24.69</td> </tr> <tr> <td>E-02</td> <td>8.37</td> <td>9.56</td> <td>8.37</td> </tr> <tr> <td>E-03</td> <td>18.33</td> <td>15.67</td> <td>18.33</td> </tr> </tbody> </table>	RESULTADOS	INDICE PDC (mm/glp)			P-01	P-02	P-03	E-01	24.69	21.71	24.69	E-02	8.37	9.56	8.37	E-03	18.33	15.67	18.33
RESULTADOS									INDICE PDC (mm/glp)																	
								P-01	P-02	P-03																
E-01	24.69	21.71	24.69																							
E-02	8.37	9.56	8.37																							
E-03	18.33	15.67	18.33																							
1.20																										
1.30																										
1.40	0.20	Probetas para densidad		Arena pobremente graduada	SP	A-3 (0)	<p>Densidad del suelo M-15</p>																			
1.50																										

Nota: El índice de Penetración Dinámica de Cono (IPDC) ha sido tomado unicamente para el suelo de interés. La cual corresponde según estudio a una profundidad mínima de 1.50m. Para la presente investigación, se ha procurado no pasar esa profundidad.

EXPLORACIÓN DE SUELOS / ENSAYO DE P.D.C.

NORMA: ASTM D 420 / MTCE101 - 2000 / D 6951 - 09

Proyecto: Calibración de la Ecuación de Correlación entre el P.D.C y C.B.R. bajo incidencia de la humedad, en Suelos a Nivel de la Subrasante caso de estudio vía Juliaca – Caracoto.
Ubicación: Juliaca - Puno - Perú
Fecha: 06/11/2018
Operador: J.O.P.N **Prof. Inicio:** -0.50m
Calicata: C-16 **Progresiva:** 3+ 750.00
Cota Superficial: 3,830.00msnm
Coordenada (E- N): 381788.00 8279030.00
Revisado por: Ing. R.L.Y.T
Profundidad Total: -1.50m

Profundidad (m)	Espesor estrato (m)	Muestras Obtenidas	Simbología Gráfica	Descripción del Material	CLASIFICACIÓN		ENSAYO PDC																			
					SUCS	AASHTO																				
0.10	0.20	Ensayo P.D.C		Material orgánico con presencia de raíces	Pt		<p align="center">índice de PDC (mm/glp)</p> $IPDC = \frac{P(i+1) - P(i)}{B(i+1) - B(i)}$ <p>IPDC₁= 34.12 mm/golp IPDC₂= 15.24 mm/golp</p>																			
0.20																										
0.30	0.30			Arena fina bien graduada	SW		<p align="center">CURVA PDC</p> <p align="center">Golpes Acumulados</p>																			
0.40																										
0.50																										
0.60	0.60			Arena mal graduada con presencia de gravillas	SP		<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">RESULTADOS</th> <th colspan="3">INDICE PDC (mm/glp)</th> </tr> <tr> <th>P-01</th> <th>P-02</th> <th>P-03</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E-01</td> <td>12.95</td> <td>12.58</td> <td>15.27</td> </tr> <tr> <td>E-02</td> <td>29.71</td> <td>38.20</td> <td>34.45</td> </tr> <tr> <td>E-03</td> <td>16.60</td> <td>15.11</td> <td>14.00</td> </tr> </tbody> </table>	RESULTADOS	INDICE PDC (mm/glp)			P-01	P-02	P-03	E-01	12.95	12.58	15.27	E-02	29.71	38.20	34.45	E-03	16.60	15.11	14.00
RESULTADOS									INDICE PDC (mm/glp)																	
								P-01	P-02	P-03																
E-01								12.95	12.58	15.27																
E-02								29.71	38.20	34.45																
E-03	16.60	15.11	14.00																							
0.70																										
0.80																										
0.90																										
1.00	0.30	Molde de CBR		Limo de baja plasticidad	ML	A-4 (8)	<p>Muestra Inalterada M-16</p> <p>Densidad del suelo M-16</p>																			
1.10																										
1.20																										
1.30	0.10	Probeta para densidad		pob. te. gr. a	SP	A-3 (0)																				
1.40																										
1.50																										

Nota: El índice de Penetración Dinámica de Cono (IPDC) ha sido tomado unicamente para el suelo de interés. La cual corresponde según estudio a una profundidad mínima de 1.50m. Para la presente investigación, se ha procurado no pasar esa profundidad.

ANEXO B-2: GRANULOMETRÍA, LÍMITES DE CONSISTENCIA Y CLASIFICACIÓN DE SUELOS



1.00 GRANULOMETRÍA DEL SUELO

NORMA: ASTM D 422 - MTCE 107 - 2000

Proyecto: Calibración de la Ecuación de Correlación entre el P.D.C y C.B.R. bajo incidencia de la humedad, en Suelos a Nivel de la Subrasante caso de estudio vía Juliaca – Caracoto.

Ubicación: Juliaca - Puno - Perú

Cota Superficial : 3,823.00msnm

Fecha: 07/11/2018

Coordenada (E- N): 380272.00 8282621.00

Operador: J.O.P.N

Revisado por : Ing. R.L.Y.T

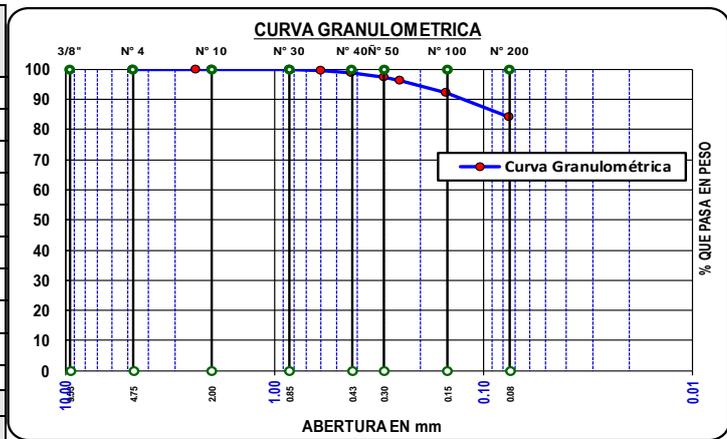
Calicata: C-01 Progresiva: 0+ 125.00

Profundidad Total : 1.50m

Muestra	Características	Porcentaje que pasa	Coefficientes
E-03			
Peso Inicial Seco : 500.00gr	⇒ D10 :	⇒ N°4 : 99.96	⇒ Cu :
Peso D/lavado : 81.89gr	⇒ D30 :	⇒ N°200 : 84.27	⇒ Cc :
Pérdida : 418.11	⇒ D60 :		⇒ (IG) : 8

Calicata: C-01

Tamiz	Abertura (mm)	Peso retenido (gr)	% retenido parcial	%retenido acumulado	% que pasa
N°4	4.75	0.22	0.044	0.04	99.96
N°8	2.36	0.32	0.064	0.11	99.89
N°10	2.00	0.06	0.012	0.12	99.88
N°20	0.85	0.86	0.172	0.29	99.71
N°30	0.60	1.85	0.37	0.66	99.34
N°40	0.43	3.42	0.684	1.35	98.65
N°50	0.30	6.78	1.356	2.70	97.30
N°60	0.25	5.34	1.068	3.77	96.23
N°100	0.15	20.38	4.076	7.85	92.15
N°200	0.075	39.4	7.88	15.73	84.27
Fondo		421.37	84.27	100	0
Total		500.00	100		



2.00 LÍMITES DE CONSISTENCIA

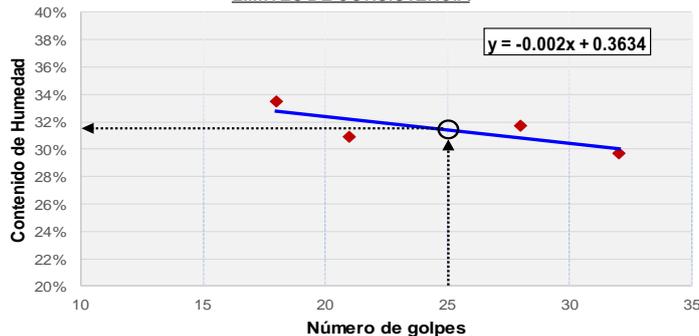
NORMA: ASTM D 4318 - MTCE 110, 111 - 2000

N° de ensayo	Límite Líquido				Límite plástico		
	1	2	3	4	1	2	3
N° de capsula	T-48	T-33	T-45	T-41	T-031	T-008	T-0705
Peso de cápsula (gr)	16.42	15.43	15.01	14.47	7.84	7.9	7.98
Peso de cápsula + M. húmeda (gr)	41.85	45.54	45.22	39.04	10.73	10.27	11.1
Peso de cápsula+ M. seca (gr)	36.03	38.29	38.08	32.87	10.17	9.81	10.47
Peso del agua (gr)	5.82	7.25	7.14	6.17	0.56	0.46	0.63
Peso de la Muestra seca (gr)	19.61	22.86	23.07	18.4	2.33	1.91	2.49
Contenido de Humedad (%)	29.68%	31.71%	30.95%	33.53%	24.03%	24.08%	25.30%
N° de golpes	32	28	21	18	24.47%		
Promedio C. de humedad (%)	-----	-----	-----	-----			

RESUMEN DE RESULTADOS

LL= 31.34%
 LP= 24.47%
 IP= 6.87%

LÍMITES DE CONSISTENCIA



TIPO DE SUELO QUE CLASIFICA

Según:	Simbología	Descripción
SUCS	ML	Limo de baja plasticidad
AASHTO	A-4 (8)	Suelo Limoso



1.00 GRANULOMETRÍA DEL SUELO

NORMA: ASTM D 422 - MTCE 107 - 2000

Proyecto: Calibración de la Ecuación de Correlación entre el P.D.C y C.B.R bajo incidencia de la humedad, en Suelos a Nivel de la Subrasante caso de estudio vía Juliaca – Caracoto.

Ubicación: Juliaca - Puno - Perú

Fecha: 07/11/2018

Operador: J.O.P.N

Calicata: C-02

Progresiva: 0+ 375.00

Cota Superficial : 3,823.00msnm

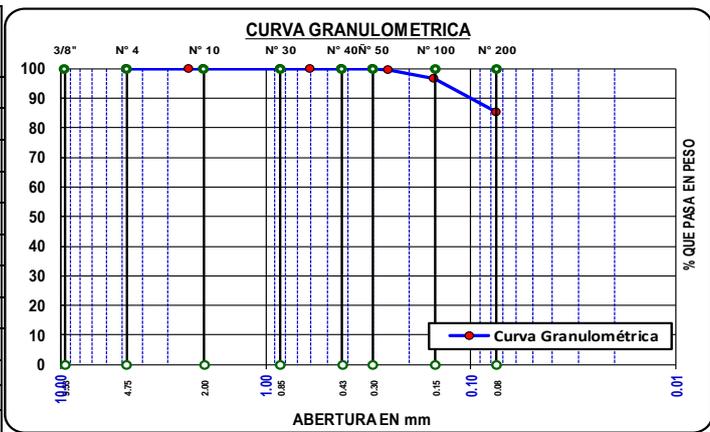
Coordenada (E- N): 380369.00 8282385.00

Revisado por : Ing. R.L.Y.T

Profundidad Total : 1.50m

Muestra	Características	Porcentaje que pasa	Coefficientes
: E-02			
Peso Inicial Seco : 500.00gr	⇒ D10 :	⇒ N°4 : 100.00	⇒ Cu :
Peso D/lavado : 80.17gr	⇒ D30 :	⇒ N°200 : 85.16	⇒ Cc :
Pérdida : 419.83	⇒ D60 :		⇒ (IG) : 8

Tamiz	Abertura (mm)	Peso retenido (gr)	% retenido parcial	%retenido acumulado	% que pasa
N°4	4.75	0	0	0.00	100.00
N°8	2.36	0	0	0.00	100.00
N°10	2.00	0.02	0.004	0.00	100.00
N°20	0.85	0.02	0.004	0.01	99.99
N°30	0.60	0.12	0.024	0.03	99.97
N°40	0.43	0.3	0.06	0.09	99.91
N°50	0.30	0.88	0.176	0.27	99.73
N°60	0.25	1.19	0.238	0.51	99.49
N°100	0.15	15.25	3.05	3.56	96.44
N°200	0.075	56.44	11.288	14.84	85.16
Fondo		425.78	85.16	100	0
Total		500.00	100		



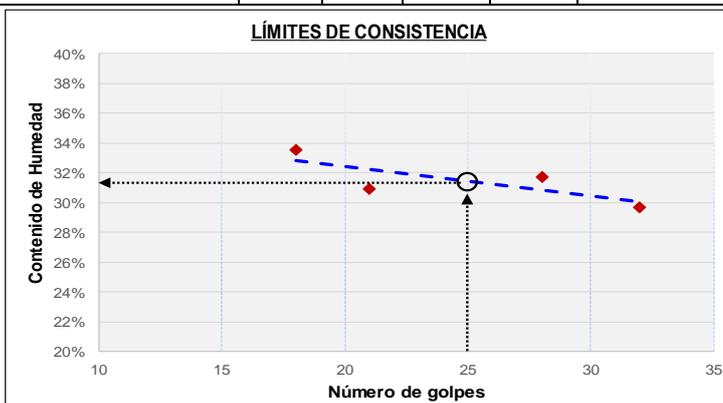
2.00 LÍMITES DE CONSISTENCIA

NORMA: ASTM D 4318 - MTCE 110, 111 - 2000

N° de ensayo	Límite Líquido				Límite plástico		
	1	2	3	4	1	2	3
N° de capsula	T-48	T-33	T-45	T-41	T-031	T-008	T-0705
Peso de capsula (gr)	16.42	15.43	15.01	14.47	7.84	7.9	7.98
Peso de capsula + M. húmeda (gr)	41.85	45.54	45.22	39.04	10.73	10.27	11.1
Peso de capsula+ M. seca (gr)	36.03	38.29	38.08	32.87	10.17	9.81	10.47
Peso del agua (gr)	5.82	7.25	7.14	6.17	0.56	0.46	0.63
Peso de la Muestra seca (gr)	19.61	22.86	23.07	18.4	2.33	1.91	2.49
Contenido de Humedad (%)	29.68%	31.71%	30.95%	33.53%	24.03%	24.08%	25.30%
N° de golpes	32	28	21	18	24.47%		
Promedio C. de humedad (%)	-----	-----	-----	-----			

RESUMEN DE RESULTADOS

LL= 31.34%
 LP= 24.47%
 IP= 6.87%



TIPO DE SUELO QUE CLASIFICA

Según:	Simbología	Descripción
SUCS	ML	Limo de baja plasticidad
AASHTO	A-4 (8)	Suelo Limoso



1.00 GRANULOMETRÍA DEL SUELO

NORMA: ASTM D 422 - MTCE 107 - 2000

Proyecto: Calibración de la Ecuación de Correlación entre el P.D.C y C.B.R bajo incidencia de la humedad, en Suelos a Nivel de la Subrasante caso de estudio vía Juliaca – Caracoto.

Ubicación: Juliaca - Puno - Perú

Fecha: 07/11/2018

Operador: J.O.P.N

Calicata: C-03

Progresiva: 0+ 625.00

Cota Superficial : 3,824.00msnm

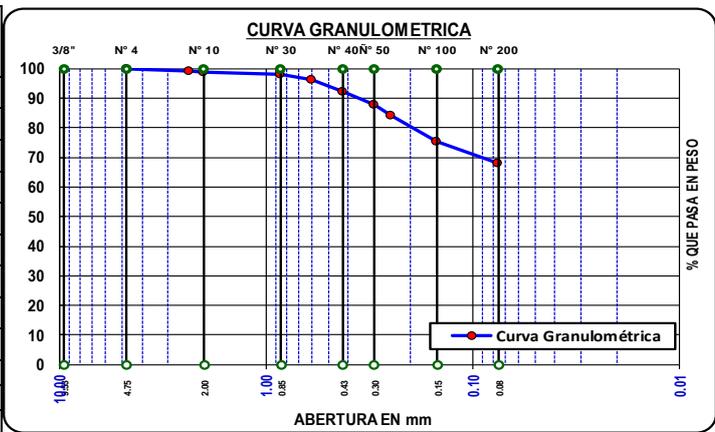
Coordenada (E- N): 380470.00 8282150.00

Revisado por : Ing. R.L.Y.T

Profundidad Total : 1.50m

Muestra	Características	Porcentaje que pasa	Coefficientes
E-03			
Peso Inicial Seco : 500.00gr	⇒ D10 :	⇒ N°4 : 99.79	⇒ Cu :
Peso D/lavado : 161.83gr	⇒ D30 :	⇒ N°200 : 67.96	⇒ Cc :
Pérdida : 338.17	⇒ D60 :		⇒ (IG) : 7

Tamiz	Abertura (mm)	Peso retenido (gr)	% retenido parcial	%retenido acumulado	% que pasa
N°4	4.75	1.064	0.2128	0.21	99.79
N°8	2.36	3.464	0.6928	0.91	99.09
N°10	2.00	0.894	0.1788	1.08	98.92
N°20	0.85	5.154	1.0308	2.12	97.88
N°30	0.60	7.584	1.5168	3.63	96.37
N°40	0.43	21.334	4.2668	7.90	92.10
N°50	0.30	22.194	4.4388	12.34	87.66
N°60	0.25	18.084	3.6168	15.95	84.05
N°100	0.15	44.36	8.8728	24.83	75.17
N°200	0.075	36.054	7.2108	32.04	67.96
Fondo		339.81	67.96	100	0
Total		500.00	100		



2.00 LÍMITES DE CONSISTENCIA

NORMA: ASTM D 4318 - MTCE 110, 111 - 2000

N° de ensayo	Límite Líquido				Límite plástico		
	1	2	3	4	1	2	3
N° de capsula	T-48	T-33	T-45	T-41	T-031	T-008	T-0705
Peso de cápsula (gr)	16.4	20.8	16.66	15.93	8.63	9.09	8.09
Peso de cápsula + M. húmeda (gr)	44.28	48.55	39.75	39.34	10.99	11.07	9.95
Peso de cápsula+ M. seca (gr)	38.58	42.73	34.77	34.09	10.64	10.75	9.65
Peso del agua (gr)	5.7	5.82	4.98	5.25	0.35	0.32	0.3
Peso de la Muestra seca (gr)	22.18	21.93	18.11	18.16	2.01	1.66	1.56
Contenido de Humedad (%)	25.70%	26.54%	27.50%	28.91%	17.41%	19.28%	19.23%
N° de golpes	35	28	20	16	18.64%		
Promedio C. de humedad (%)	-----	-----	-----	-----			

RESUMEN DE RESULTADOS

LL= 27.07%
 LP= 18.64%
 IP= 8.43%



TIPO DE SUELO QUE CLASIFICA

Según:	Simbología	Descripción
SUCS	CL	Arcilla de baja plasticidad
AASHTO	A-4 (7)	Suelo Limoso



1.00 GRANULOMETRÍA DEL SUELO

NORMA: ASTM D 422 - MTCE 107 - 2000

Proyecto: Calibración de la Ecuación de Correlación entre el P.D.C y C.B.R bajo incidencia de la humedad, en Suelos a Nivel de la Subrasante caso de estudio vía Juliaca – Caracoto.

Ubicación: Juliaca - Puno - Perú

Fecha: 07/11/2018

Operador: J.O.P.N

Calicata: C-04

Progresiva: 0+ 875.00

Cota Superficial : 3,826.00msnm

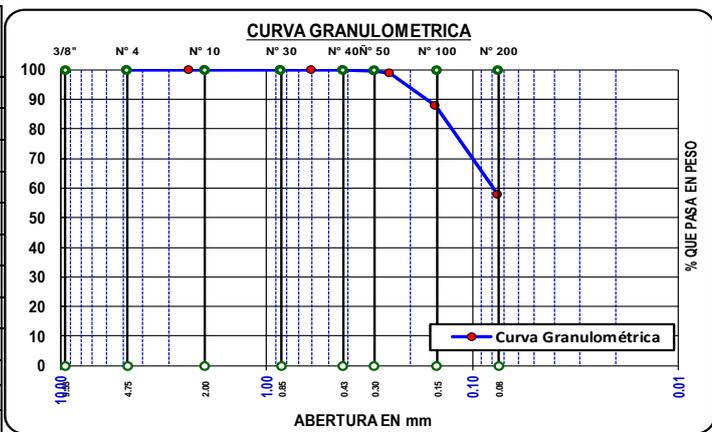
Coordenada (E- N): 380571.00 8281907.00

Revisado por : Ing. R.L.Y.T

Profundidad Total : 1.50m

Muestra	Características	Porcentaje que pasa	Coefficientes
E-03			
Peso Inicial Seco : 500.00gr	⇒ D10 :	⇒ N°4 : 100.00	⇒ Cu :
Peso D/lavado : 220.41gr	⇒ D30 :	⇒ N°200 : 57.63	⇒ Cc :
Pérdida : 279.59	⇒ D60 :		⇒ (IG) : 5

Tamiz	Abertura (mm)	Peso retenido (gr)	% retenido parcial	%retenido acumulado	% que pasa
N°4	4.75	0.00	0.000	0.00	100.00
N°8	2.36	0.21	0.042	0.04	99.96
N°10	2.00	0.03	0.006	0.05	99.95
N°20	0.85	0.04	0.008	0.06	99.94
N°30	0.60	0.07	0.014	0.07	99.93
N°40	0.43	0.24	0.048	0.12	99.88
N°50	0.30	1.40	0.280	0.40	99.60
N°60	0.25	3.83	0.766	1.17	98.83
N°100	0.15	55.73	11.146	12.31	87.69
N°200	0.075	150.31	30.062	42.37	57.63
Fondo		288.13	57.63	100	0
Total		500.00	100		



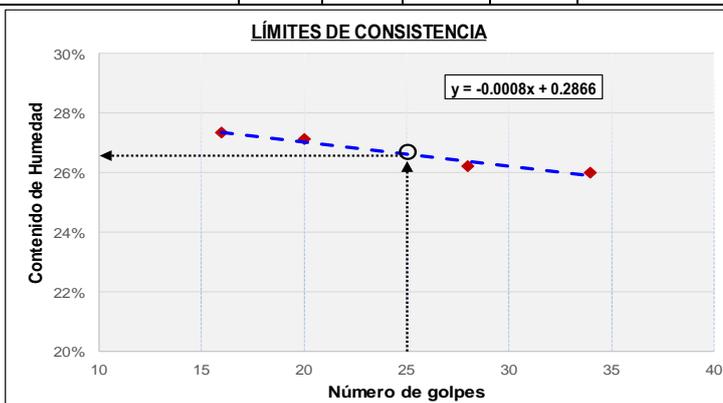
2.00 LÍMITES DE CONSISTENCIA

NORMA: ASTM D 4318 - MTCE 110, 111 - 2000

N° de ensayo	Límite Líquido				Límite plástico		
	1	2	3	4	1	2	3
N° de capsula	T-48	T-33	T-45	T-41	T-031	T-008	T-0705
Peso de cápsula (gr)	16.28	15.99	20.81	15.84	8.37	9.06	7.81
Peso de cápsula + M. húmeda (gr)	33.67	40.74	41.98	45.92	10.43	10.73	9.01
Peso de cápsula+ M. seca (gr)	30.08	35.6	37.46	39.46	10.01	10.39	8.78
Peso del agua (gr)	3.59	5.14	4.52	6.46	0.42	0.34	0.23
Peso de la Muestra seca (gr)	13.8	19.61	16.65	23.62	1.64	1.33	0.97
Contenido de Humedad (%)	26.01%	26.21%	27.15%	27.35%	25.61%	25.56%	23.71%
N° de golpes	34	28	20	16	24.96%		
Promedio C. de humedad (%)	-----	-----	-----	-----			

RESUMEN DE RESULTADOS

LL= 26.66%
 LP= 24.96%
 IP= 1.70%



TIPO DE SUELO QUE CLASIFICA

Según:	Simbología	Descripción
SUCS	ML	Limo de baja plasticidad
AASHTO	A-4 (5)	Suelo Limoso



1.00 GRANULOMETRÍA DEL SUELO

NORMA: ASTM D 422 - MTCE 107 - 2000

Proyecto: Calibración de la Ecuación de Correlación entre el P.D.C y C.B.R bajo incidencia de la humedad, en Suelos a Nivel de la Subrasante caso de estudio vía Juliaca – Caracoto.

Ubicación: Juliaca - Puno - Perú

Fecha: 07/11/2018

Operador: J.O.P.N

Calicata: C-05

Progresiva: 1+ 125.00

Cota Superficial : 3,826.00msnm

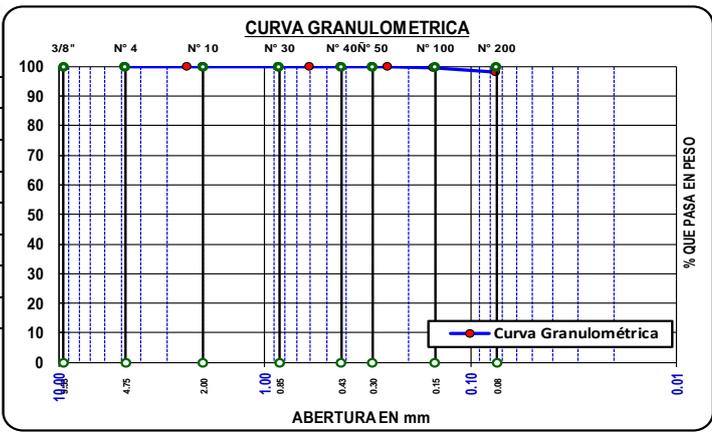
Coordenada (E- N): 380670.00 8281679.00

Revisado por : Ing. R.L.Y.T

Profundidad Total : 1.50m

Muestra	Características	Porcentaje que pasa	Coefficientes
E-02			
Peso Inicial Seco : 500.00gr	⇒ D10 :	⇒ N°4 : 100.00	⇒ Cu :
Peso D/lavado : 9.87gr	⇒ D30 :	⇒ N°200 : 98.07	⇒ Cc :
Pérdida : 490.13	⇒ D60 :		⇒ (IG) : 18

Tamiz	Abertura (mm)	Peso retenido (gr)	% retenido parcial	%retenido acumulado	% que pasa
N°4	4.75	0.00	0.000	0.00	100.00
N°8	2.36	0.16	0.032	0.03	99.97
N°10	2.00	0.01	0.002	0.03	99.97
N°20	0.85	0.05	0.010	0.05	99.95
N°30	0.60	0.11	0.022	0.07	99.93
N°40	0.43	0.15	0.030	0.10	99.90
N°50	0.30	0.33	0.066	0.16	99.84
N°60	0.25	0.24	0.048	0.21	99.79
N°100	0.15	2.18	0.436	0.65	99.35
N°200	0.075	6.42	1.284	1.93	98.07
Fondo		490.33	98.07	100	0
Total		500.00	100		



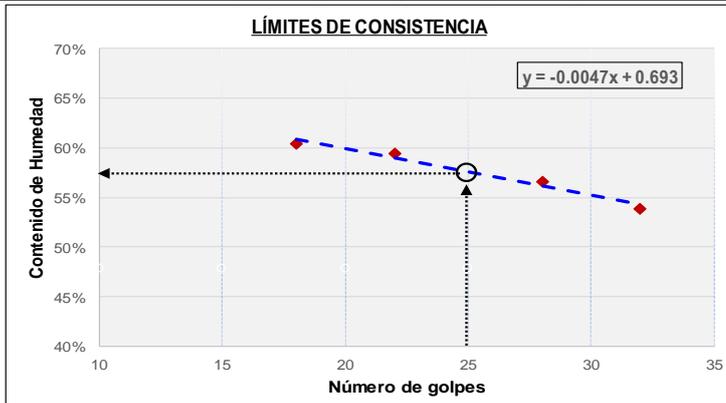
2.00 LÍMITES DE CONSISTENCIA

NORMA: ASTM D 4318 - MTCE 110, 111 - 2000

N° de ensayo	Límite Líquido				Límite plástico		
	1	2	3	4	1	2	3
N° de capsula	T-48	T-33	T-45	T-41	T-031	T-008	T-0705
Peso de cápsula (gr)	14.97	15.44	13.39	14.56	8.02	7.9	9.15
Peso de cápsula + M. húmeda (gr)	39.17	40.22	39.69	41	9.84	10.27	10.54
Peso de cápsula+ M. seca (gr)	30.7	31.26	29.89	31.04	9.37	9.73	10.23
Peso del agua (gr)	8.47	8.96	9.8	9.96	0.47	0.54	0.31
Peso de la Muestra seca (gr)	15.73	15.82	16.5	16.48	1.35	1.83	1.08
Contenido de Humedad (%)	53.85%	56.64%	59.39%	60.44%	34.81%	29.51%	28.70%
N° de golpes	32	28	22	18	31.01%		
Promedio C. de humedad (%)	-----	-----	-----	-----			

RESUMEN DE RESULTADOS

LL= 57.55%
 LP= 31.01%
 IP= 26.54%



TIPO DE SUELO QUE CLASIFICA

Según:	Simbología	Descripción
SUCS	MH	Limo de alta plasticidad
AASHTO	A-7-5 (18)	Suelo arcilloso



1.00 GRANULOMETRÍA DEL SUELO

NORMA: ASTM D 422 - MTCE 107 - 2000

Proyecto: Calibración de la Ecuación de Correlación entre el P.D.C y C.B.R bajo incidencia de la humedad, en Suelos a Nivel de la Subrasante caso de estudio vía Juliaca – Caracoto.

Ubicación: Juliaca - Puno - Perú

Fecha: 07/11/2018

Operador: J.O.P.N

Calicata: C-06

Progresiva: 1+ 375.00

Cota Superficial : 3,828.00msnm

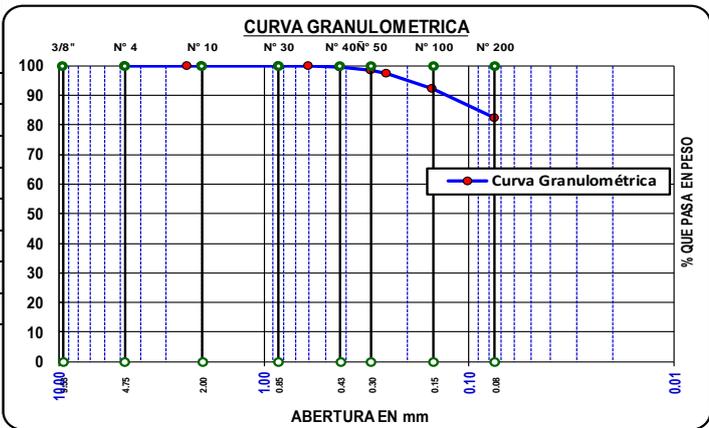
Coordenada (E- N): 380765.00 8281441.00

Revisado por : Ing. R.L.Y.T

Profundidad Total : 1.50m

Muestra	Características	Porcentaje que pasa	Coefficientes
E-05			
Peso Inicial Seco : 500.00gr	⇒ D10 :	⇒ N°4 : 100.00	⇒ Cu :
Peso D/lavado : 90.08gr	⇒ D30 :	⇒ N°200 : 82.14	⇒ Cc :
Pérdida : 409.92	⇒ D60 :		⇒ (IG) : 8

Tamiz	Abertura (mm)	Peso retenido (gr)	% retenido parcial	%retenido acumulado	% que pasa
N°4	4.75	0.00	0.000	0.00	100.00
N°8	2.36	0.16	0.032	0.03	99.97
N°10	2.00	0.01	0.002	0.03	99.97
N°20	0.85	0.13	0.026	0.06	99.94
N°30	0.60	0.64	0.128	0.19	99.81
N°40	0.43	2.13	0.426	0.61	99.39
N°50	0.30	4.40	0.880	1.49	98.51
N°60	0.25	5.70	1.140	2.63	97.37
N°100	0.15	25.47	5.094	7.73	92.27
N°200	0.075	50.66	10.132	17.86	82.14
Fondo		410.71	82.14	100	0
Total		500.00	100		



2.00 LÍMITES DE CONSISTENCIA

NORMA: ASTM D 4318 - MTCE 110, 111 - 2000

N° de ensayo	Límite Líquido				Límite plástico		
	1	2	3	4	1	2	3
N° de capsula	T-48	T-33	T-45	T-41	T-031	T-008	T-0705
Peso de cápsula (gr)	15.02	16.12	15.25	14.27	8.01	7.89	10.98
Peso de cápsula + M. húmeda (gr)	43.66	37.26	39.84	37.71	12.35	12.63	13.86
Peso de cápsula+ M. seca (gr)	37.8	32.9	34.75	32.79	11.57	11.77	13.33
Peso del agua (gr)	5.86	4.36	5.09	4.92	0.78	0.86	0.53
Peso de la Muestra seca (gr)	22.78	16.78	19.5	18.52	3.56	3.88	2.35
Contenido de Humedad (%)	25.72%	25.98%	26.10%	26.57%	21.91%	22.16%	22.55%
N° de golpes	34	27	21	16	22.21%		
Promedio C. de humedad (%)	-----	-----	-----	-----			

RESUMEN DE RESULTADOS

LL= 26.15%
 LP= 22.21%
 IP= 3.94%



TIPO DE SUELO QUE CLASIFICA

Según:	Simbología	Descripción
SUCS	ML	Limo de baja plasticidad
AASHTO	A-4 (8)	Suelo Limoso



1.00 GRANULOMETRÍA DEL SUELO

NORMA: ASTM D 422 - MTCE 107 - 2000

Proyecto: Calibración de la Ecuación de Correlación entre el P.D.C y C.B.R bajo incidencia de la humedad, en Suelos a Nivel de la Subrasante caso de estudio vía Juliaca – Caracoto.

Ubicación: Juliaca - Puno - Perú

Cota Superficial : 3,829.00msnm

Fecha: 07/11/2018

Coordenada (E- N): 380871.00 8281207.00

Operador: J.O.P.N

Revisado por : Ing. R.L.Y.T

Calicata: C-7

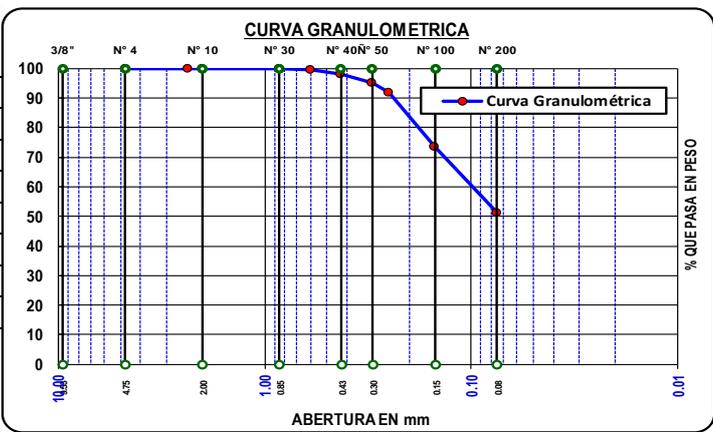
Progresiva: 1+ 625.00

Profundidad Total : 1.50m

Muestra	Características	Porcentaje que pasa	Coefficientes
E-02 y 04			
Peso Inicial Seco : 500.00gr	⇒ D10 :	⇒ N°4 : 100.00	⇒ Cu :
Peso D/lavado : 254.17gr	⇒ D30 :	⇒ N°200 : 51.20	⇒ Cc :
Pérdida : 245.83	⇒ D60 :		⇒ (IG) : 3

suelo arcilloso

Tamiz	Abertura (mm)	Peso retenido (gr)	% retenido parcial	%retenido acumulado	% que pasa
N°4	4.75	0.00	0.000	0.00	100.00
N°8	2.36	0.09	0.019	0.02	99.98
N°10	2.00	0.08	0.017	0.04	99.96
N°20	0.85	0.25	0.051	0.09	99.91
N°30	0.60	2.05	0.411	0.50	99.50
N°40	0.43	7.15	1.431	1.93	98.07
N°50	0.30	14.74	2.949	4.88	95.12
N°60	0.25	16.75	3.351	8.2262	91.77
N°100	0.15	91.58	18.317	26.54	73.46
N°200	0.075	111.29	22.259	48.8014	51.20
Fondo		255.99	51.20	100	0
Total		500.00	100		



2.00 LÍMITES DE CONSISTENCIA

NORMA: ASTM D 4318 - MTCE 110, 111 - 2000

N° de ensayo	Límite Líquido				Límite plástico		
	1	2	3	4	1	2	3
N° de capsula	T-48	T-33	T-45	T-41	T-031	T-008	T-0705
Peso de cápsula (gr)	14.94	15.5	15.91	14.28	7.78	7.84	7.98
Peso de cápsula + M. húmeda (gr)	34.57	36.38	37.52	47.12	10.68	9.14	10.22
Peso de cápsula+ M. seca (gr)	30.25	31.72	32.67	39.55	10.11	8.89	9.78
Peso del agua (gr)	4.32	4.66	4.85	7.57	0.57	0.25	0.44
Peso de la Muestra seca (gr)	15.31	16.22	16.76	25.27	2.33	1.05	1.8
Contenido de Humedad (%)	28.22%	28.73%	28.94%	29.96%	24.46%	23.81%	24.44%
N° de golpes	34	28	20	15	24.24%		
Promedio C. de humedad (%)	-----	-----	-----	-----			

RESUMEN DE RESULTADOS

LL=	29.04%
LP=	24.24%
IP=	4.80%



TIPO DE SUELO QUE CLASIFICA

Según:	Simbología	Descripción
SJCS	ML	Limo de baja plasticidad
AASHTO	A-4 (3)	Suelo Limoso



1.00 GRANULOMETRÍA DEL SUELO

NORMA: ASTM D 422 - MTCE 107 - 2000

Proyecto: Calibración de la Ecuación de Correlación entre el P.D.C. y C.B.R. bajo incidencia de la humedad, en Suelos a Nivel de la Subrasante caso de estudio vía Juliaca - Caracoto.

Ubicación: Juliaca - Puno - Perú

Cota Superficial : 3,829.00msnm

Fecha: 07/11/2018

Coordenada (E- N): 380871.00 8281207.00

Operador: J.O.P.N

Revisado por : Ing. R.L.Y.T

Calicata: C-07-2

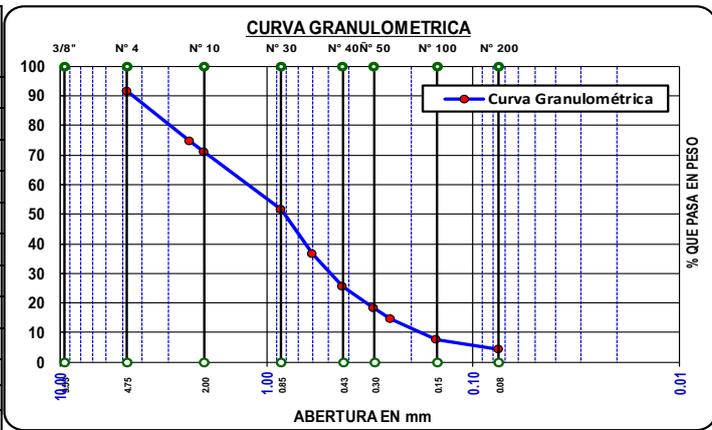
Progresiva: 1+ 625.00

Profundidad Total : 1.50m

Muestra	Características	Porcentaje que pasa	Coefficientes
E-03			
Peso Inicial Seco : 500.00gr	⇒ D10 : 0.18	⇒ N°4 : 91.35	⇒ Cu : 7.36
Peso D/lavado : 477.70gr	⇒ D30 : 0.50	⇒ N°200 : 4.49	⇒ Cc : 0.99
Pérdida : 22.30	⇒ D60 : 1.35		⇒ (IG) : 0

suelo arenosos

Tamiz	Abertura (mm)	Peso retenido (gr)	% retenido parcial	%retenido acumulado	% que pasa
N°4	4.75	43.27	8.654	8.65	91.35
N°8	2.36	82.84	16.567	25.22	74.78
N°10	2.00	19.20	3.839	29.06	70.94
N°20	0.85	97.02	19.403	48.46	51.54
N°30	0.60	75.04	15.007	63.47	36.53
N°40	0.43	54.55	10.909	74.38	25.62
N°50	0.30	36.64	7.327	81.71	18.29
N°60	0.25	19.20	3.839	85.55	14.46
N°100	0.15	33.52	6.703	92.25	7.75
N°200	0.075	16.31	3.261	95.51	4.49
Fondo		22.46	4.49	100	0
Total		500.00	100		



2.00 LÍMITES DE CONSISTENCIA

NORMA: ASTM D 4318 - MTCE 110, 111 - 2000

N° de ensayo	Límite Líquido				Límite plástico		
	1	2	3	4	1	2	3
N° de capsula	---	---	---	---	---	---	---
Peso de capsula (gr)	---	---	---	---	---	---	---
Peso de capsula + M. húmeda (gr)	---	---	---	---	---	---	---
Peso de capsula+ M. seca (gr)	---	---	---	---	---	---	---
Peso del agua (gr)	---	---	---	---	---	---	---
Peso de la Muestra seca (gr)	---	---	---	---	---	---	---
Contenido de Humedad (%)	---	---	---	---	---	---	---
N° de golpes	---	---	---	---			
Promedio C. de humedad (%)	---	---	---	---			

RESUMEN DE RESULTADOS

LL= NP
 LP= NP
 IP= NP



TIPO DE SUELO QUE CLASIFICA

Según:	Simbología	Descripción
SUCS	SW	Arena bien graduada
AASHTO	A-3 (0)	Arena fina



1.00 GRANULOMETRÍA DEL SUELO

NORMA: ASTM D 422 - MTCE 107 - 2000

Proyecto: Calibración de la Ecuación de Correlación entre el P.D.C y C.B.R bajo incidencia de la humedad, en Suelos a Nivel de la Subrasante caso de estudio vía Juliaca – Caracoto.

Ubicación: Juliaca - Puno - Perú

Fecha: 07/11/2018

Operador: J.O.P.N

Calicata: C-08

Progresiva: 1+ 875.00

Cota Superficial : 3,830.00msnm

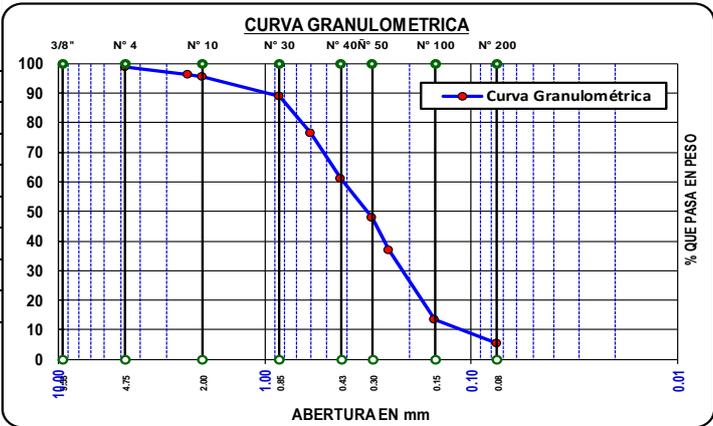
Coordenada (E- N): 380962.00 8280967.00

Revisado por : Ing. R.L.Y.T

Profundidad Total : 1.50m

Muestra	Características	Porcentaje que pasa	Coefficientes
: E-03			
Peso Inicial Seco : 500.00gr	⇒ D10 : 0.12	⇒ N°4 : 98.71	⇒ Cu : 3.53
Peso D/lavado : 472.50gr	⇒ D30 : 0.22	⇒ N°200 : 5.57	⇒ Cc : 1.01
Pérdida : 27.50	⇒ D60 : 0.41		⇒ (IG) : 0

Tamiz	Abertura (mm)	Peso retenido (gr)	% retenido parcial	%retenido acumulado	% que pasa
N°4	4.75	6.44	1.289	1.29	98.71
N°8	2.36	13.49	2.699	3.99	96.01
N°10	2.00	3.33	0.667	4.65	95.35
N°20	0.85	33.23	6.647	11.30	88.70
N°30	0.60	61.89	12.379	23.68	76.32
N°40	0.43	75.44	15.089	38.77	61.23
N°50	0.30	66.74	13.349	52.12	47.88
N°60	0.25	55.36	11.073	63.19	36.81
N°100	0.15	116.82	23.365	86.55	13.45
N°200	0.075	39.38	7.877	94.43	5.57
Fondo		27.85	5.57	100	0
Total		500.00	100		



2.00 LÍMITES DE CONSISTENCIA

NORMA: ASTM D 4318 - MTCE 110, 111 - 2000

N° de ensayo	Límite Líquido				Límite plástico		
	1	2	3	4	1	2	3
N° de capsula	---	---	---	---	---	---	---
Peso de cápsula (gr)	---	---	---	---	---	---	---
Peso de cápsula + M. húmeda (gr)	---	---	---	---	---	---	---
Peso de cápsula+ M. seca (gr)	---	---	---	---	---	---	---
Peso del agua (gr)	---	---	---	---	---	---	---
Peso de la Muestra seca (gr)	---	---	---	---	---	---	---
Contenido de Humedad (%)	---	---	---	---	---	---	---
N° de golpes	---	---	---	---			
Promedio C. de humedad (%)	---	---	---	---			

RESUMEN DE RESULTADOS

LL= NP
 LP= NP
 IP= NP



TIPO DE SUELO QUE CLASIFICA

Según:	Simbología	Descripción
SUICS	SP	Arena pobremente graduada
AASHTO	A-3 (0)	Arena fina



1.00 GRANULOMETRÍA DEL SUELO

NORMA: ASTM D 422 - MTCE 107 - 2000

Proyecto: Calibración de la Ecuación de Correlación entre el P.D.C y C.B.R bajo incidencia de la humedad, en Suelos a Nivel de la Subrasante caso de estudio vía Juliaca – Caracoto.

Ubicación: Juliaca - Puno - Perú

Fecha: 07/11/2018

Operador: J.O.P.N

Calicata: C-09

Progresiva: 2+ 125.00

Cota Superficial : 3,826.00msnm

Coordenada (E- N): 381062.00 8280731.00

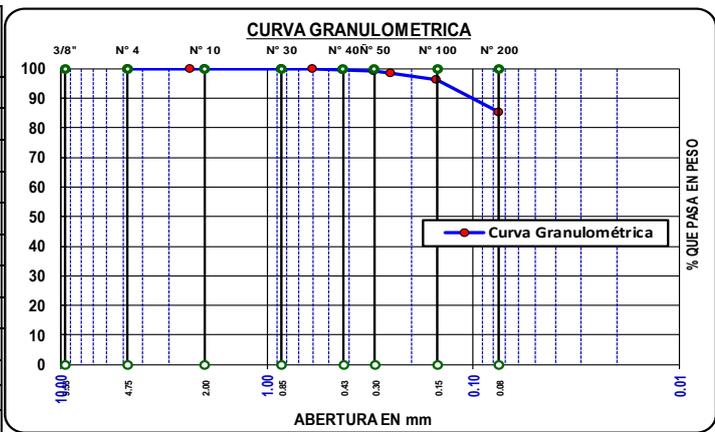
Revisado por : Ing. R.L.Y.T

Profundidad Total : 1.50m

Muestra	Características	Porcentaje que pasa	Coefficientes
E-03 y 04			
Peso Inicial Seco : 500.00gr	⇒ D10 :	⇒ N°4 : 100.00	⇒ Cu :
Peso D/lavado : 79.76gr	⇒ D30 :	⇒ N°200 : 85.10	⇒ Cc :
Pérdida : 420.24	⇒ D60 :		⇒ (IG) : 8

suelo arcillosos

Tamiz	Abertura (mm)	Peso retenido (gr)	% retenido parcial	%retenido acumulado	% que pasa
N°4	4.75	0.00	0.000	0.00	100.00
N°8	2.36	0.11	0.021	0.02	99.98
N°10	2.00	0.02	0.003	0.02	99.98
N°20	0.85	0.15	0.029	0.05	99.95
N°30	0.60	0.41	0.081	0.13	99.87
N°40	0.43	1.43	0.285	0.42	99.58
N°50	0.30	3.10	0.619	1.04	98.96
N°60	0.25	2.40	0.479	1.517	98.48
N°100	0.15	11.37	2.273	3.79	96.21
N°200	0.075	55.58	11.115	14.905	85.10
Fondo		425.48	85.10	100	0
Total		500.00	100		



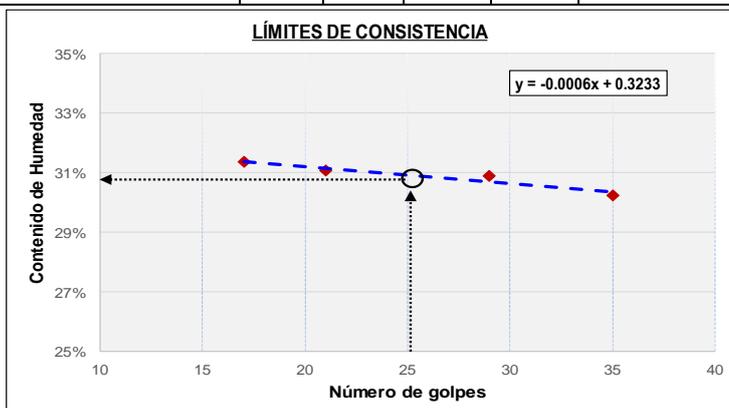
2.00 LÍMITES DE CONSISTENCIA

NORMA: ASTM D 4318 - MTCE 110, 111 - 2000

N° de ensayo	Límite Líquido				Límite plástico		
	1	2	3	4	1	2	3
N° de capsula	T-48	T-33	T-45	T-41	T-031	T-008	T-0705
Peso de capsula (gr)	13.85	15.01	14.36	15.49	9.88	7.89	7.9
Peso de capsula + M. húmeda (gr)	37.92	40.22	40.72	45.77	11.76	8.96	9.85
Peso de capsula+ M. seca (gr)	32.33	34.27	34.47	38.54	11.39	8.76	9.48
Peso del agua (gr)	5.59	5.95	6.25	7.23	0.37	0.2	0.37
Peso de la Muestra seca (gr)	18.48	19.26	20.11	23.05	1.51	0.87	1.58
Contenido de Humedad (%)	30.25%	30.89%	31.08%	31.37%	24.50%	22.99%	23.42%
N° de golpes	35	29	21	17	23.64%		
Promedio C. de humedad (%)	-----	-----	-----	-----			

RESUMEN DE RESULTADOS

LL= 30.83%
 LP= 23.64%
 IP= 7.19%



TIPO DE SUELO QUE CLASIFICA

Según:	Simbología	Descripción
SUCS	ML	Limo de baja plasticidad
AASHTO	A-4 (8)	Suelo limoso



1.00 GRANULOMETRÍA DEL SUELO

NORMA: ASTM D 422 - MTCE 107 - 2000

Proyecto: Calibración de la Ecuación de Correlación entre el P.D.C. y C.B.R. bajo incidencia de la humedad, en Suelos a Nivel de la Subrasante caso de estudio vía Juliaca – Caracoto.

Ubicación: Juliaca - Puno - Perú

Cota Superficial : 3,826.00msnm

Fecha: 07/11/2018

Coordenada (E- N): 381062.00 8280731.00

Operador: J.O.P.N

Revisado por : Ing. R.L.Y.T

Calicata: C-09-2

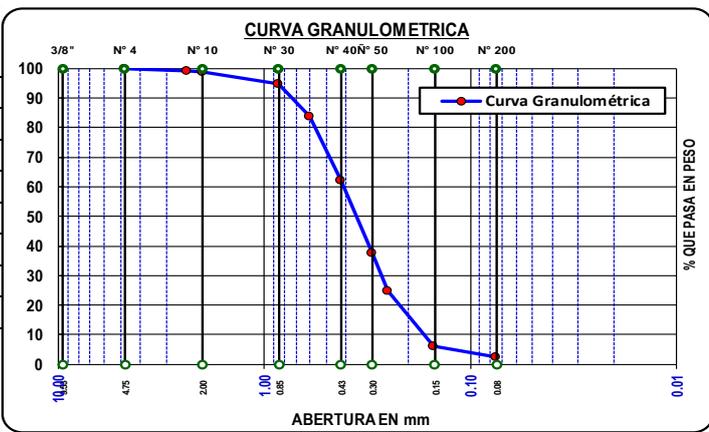
Progresiva: 2+ 125.00

Profundidad Total : 1.50m

Muestra	Características	Porcentaje que pasa	Coefficientes
E-04			
Peso Inicial Seco : 500.00gr	⇒ D10 : 0.23	⇒ N°4 : 99.88	⇒ Cu : 1.84
Peso D/lavado : 486.90gr	⇒ D30 : 0.27	⇒ N°200 : 2.65	⇒ Cc : 0.78
Pérdida : 13.10	⇒ D60 : 0.41		⇒ (IG) : 0

Suelo arenoso

Tamiz	Abertura (mm)	Peso retenido (gr)	% retenido parcial	%retenido acumulado	% que pasa
N°4	4.75	0.61	0.123	0.12	99.88
N°8	2.36	4.65	0.931	1.05	98.95
N°10	2.00	1.53	0.307	1.36	98.64
N°20	0.85	19.69	3.939	5.30	94.70
N°30	0.60	54.20	10.841	16.14	83.86
N°40	0.43	108.96	21.793	37.93	62.07
N°50	0.30	122.93	24.587	62.52	37.48
N°60	0.25	63.06	12.613	75.13	24.87
N°100	0.15	92.75	18.551	93.68	6.32
N°200	0.075	18.32	3.664	97.35	2.65
Fondo		13.27	2.65	100	0
Total		500.00	100		



2.00 LÍMITES DE CONSISTENCIA

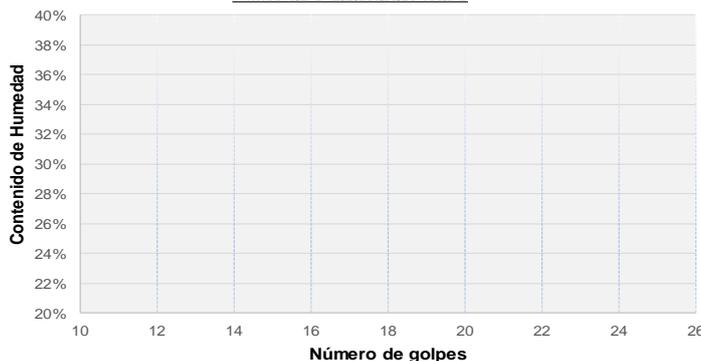
NORMA: ASTM D 4318 - MTCE 110, 111 - 2000

N° de ensayo	Límite Líquido				Límite plástico		
	1	2	3	4	1	2	3
N° de capsula	---	---	---	---	---	---	---
Peso de capsula (gr)	---	---	---	---	---	---	---
Peso de capsula + M. húmeda (gr)	---	---	---	---	---	---	---
Peso de capsula+ M. seca (gr)	---	---	---	---	---	---	---
Peso del agua (gr)	---	---	---	---	---	---	---
Peso de la Muestra seca (gr)	---	---	---	---	---	---	---
Contenido de Humedad (%)	---	---	---	---	---	---	---
N° de golpes	---	---	---	---			
Promedio C. de humedad (%)	---	---	---	---			

RESUMEN DE RESULTADOS

LL= NP
 LP= NP
 IP= NP

LÍMITES DE CONSISTENCIA



TIPO DE SUELO QUE CLASIFICA

Según:	Simbología	Descripción
SUICS	SP	Arena pobremente graduada
AASHTO	A-3 (0)	Arena fina



1.00 GRANULOMETRÍA DEL SUELO

NORMA: ASTM D 422 - MTCE 107 - 2000

Proyecto: Calibración de la Ecuación de Correlación entre el P.D.C y C.B.R bajo incidencia de la humedad, en Suelos a Nivel de la Subrasante caso de estudio vía Juliaca – Caracoto.

Ubicación: Juliaca - Puno - Perú

Fecha: 07/11/2018

Operador: J.O.P.N

Calicata: C-10

Progresiva: 2+ 375.00

Cota Superficial : 3,827.00msnm

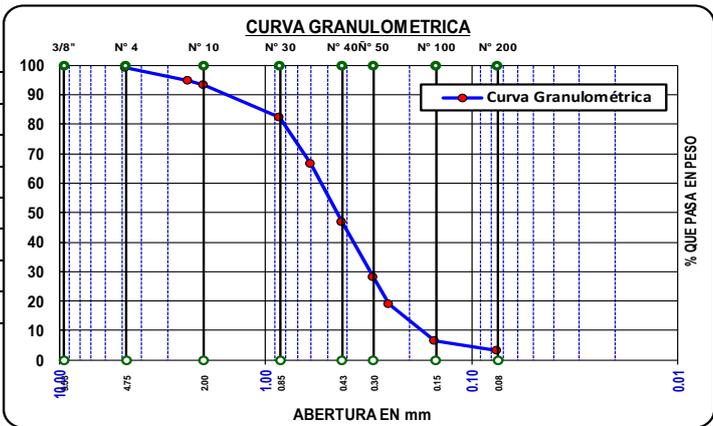
Coordenada (E- N): 381164.00 8280495.00

Revisado por : Ing. R.L.Y.T

Profundidad Total : 1.50m

Muestra	Características	Porcentaje que pasa	Coefficientes
E-03			
Peso Inicial Seco : 500.00gr	⇒ D10 : 0.18	⇒ N°4 : 99.26	⇒ Cu : 3.06
Peso D/lavado : 484.90gr	⇒ D30 : 0.31	⇒ N°200 : 3.06	⇒ Cc : 1.01
Pérdida : 15.10	⇒ D60 : 0.54		⇒ (IG) : 0

Tamiz	Abertura (mm)	Peso retenido (gr)	% retenido parcial	%retenido acumulado	% que pasa
N°4	4.75	3.69	0.738	0.74	99.26
N°8	2.36	22.88	4.576	5.31	94.69
N°10	2.00	6.55	1.310	6.62	93.38
N°20	0.85	56.29	11.258	17.88	82.12
N°30	0.60	78.64	15.728	33.61	66.39
N°40	0.43	98.08	19.616	53.23	46.77
N°50	0.30	92.62	18.524	71.75	28.25
N°60	0.25	47.26	9.452	81.20	18.80
N°100	0.15	60.53	12.106	93.31	6.69
N°200	0.075	18.14	3.628	96.94	3.06
Fondo		15.32	3.06	100	0
Total		500.00	100		



2.00 LÍMITES DE CONSISTENCIA

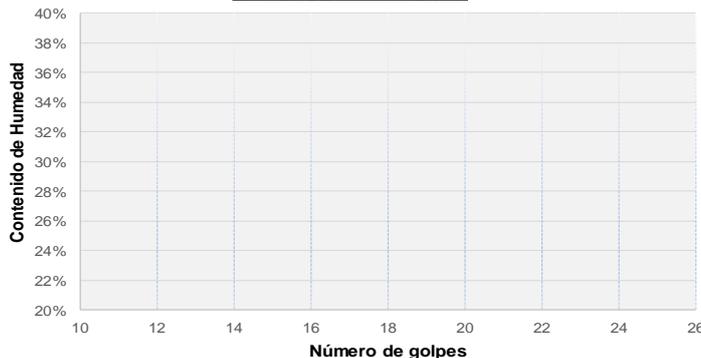
NORMA: ASTM D 4318 - MTCE 110, 111 - 2000

N° de ensayo	Límite Líquido				Límite plástico		
	1	2	3	4	1	2	3
N° de capsula	---	---	---	---	---	---	---
Peso de capsula (gr)	---	---	---	---	---	---	---
Peso de capsula + M. húmeda (gr)	---	---	---	---	---	---	---
Peso de capsula+ M. seca (gr)	---	---	---	---	---	---	---
Peso del agua (gr)	---	---	---	---	---	---	---
Peso de la Muestra seca (gr)	---	---	---	---	---	---	---
Contenido de Humedad (%)	---	---	---	---	---	---	---
N° de golpes	---	---	---	---			
Promedio C. de humedad (%)	---	---	---	---			

RESUMEN DE RESULTADOS

LL= NP
 LP= NP
 IP= NP

LÍMITES DE CONSISTENCIA



TIPO DE SUELO QUE CLASIFICA

Según:	Simbología	Descripción
SUCS	SP	Arena pobremente graduada
AASHTO	A-3 (0)	Arena fina



1.00 GRANULOMETRÍA DEL SUELO

NORMA: ASTM D 422 - MTCE 107 - 2000

Proyecto: Calibración de la Ecuación de Correlación entre el P.D.C. y C.B.R. bajo incidencia de la humedad, en Suelos a Nivel de la Subrasante caso de estudio vía Juliaca – Caracoto.

Ubicación: Juliaca - Puno - Perú

Fecha: 07/11/2018

Operador: J.O.P.N

Calicata: C-11

Progresiva: 2+ 625.00

Cota Superficial : 3,826.00msnm

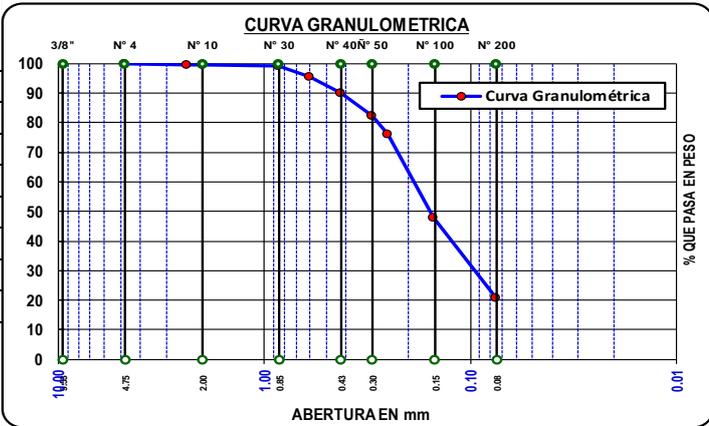
Coordenada (E- N): 381262.00 8280257.00

Revisado por : Ing. R.L.Y.T

Profundidad Total : 1.50m

Muestra	Características	Porcentaje que pasa	Coefficientes
E-04			
Peso Inicial Seco :	500.00gr	⇒ D10 : 0.04	⇒ Cu : 5.32
Peso D/lavado :	409.00gr	⇒ D30 : 0.10	⇒ Cc : 1.45
Pérdida :	91.00	⇒ D60 : 0.19	⇒ (IG) : 0

Tamiz	Abertura (mm)	Peso retenido (gr)	% retenido parcial	%retenido acumulado	% que pasa
Nº4	4.75	1.16	0.23	0.23	99.77
Nº8	2.36	0.74	0.15	0.38	99.62
Nº10	2.00	0.22	0.04	0.42	99.58
Nº20	0.85	2.66	0.53	0.95	99.05
Nº30	0.60	17.40	3.48	4.43	95.57
Nº40	0.43	28.83	5.77	10.20	89.80
Nº50	0.30	38.02	7.60	17.80	82.20
Nº60	0.25	31.29	6.26	24.06	75.94
Nº100	0.15	140.85	28.17	52.23	47.77
Nº200	0.075	135.62	27.12	79.35	20.65
Fondo		103.23	20.65	100.00	0.00
Total		500.00	100.00		



2.00 LÍMITES DE CONSISTENCIA

NORMA: ASTM D 4318 - MTCE 110, 111 - 2000

Nº de ensayo	Límite Líquido				Límite plástico		
	1	2	3	4	1	2	3
Nº de capsula	---	---	---	---	---	---	---
Peso de cápsula (gr)	---	---	---	---	---	---	---
Peso de cápsula + M. húmeda (gr)	---	---	---	---	---	---	---
Peso de cápsula+ M. seca (gr)	---	---	---	---	---	---	---
Peso del agua (gr)	---	---	---	---	---	---	---
Peso de la Muestra seca (gr)	---	---	---	---	---	---	---
Contenido de Humedad (%)	---	---	---	---	---	---	---
Nº de golpes	---	---	---	---			
Promedio C. de humedad (%)	---	---	---	---			

RESUMEN DE RESULTADOS

LL= NP
 LP= NP
 IP= NP



TIPO DE SUELO QUE CLASIFICA

Según:	Simbología	Descripción
SUICS	SP	Arena pobremente graduada
AASHTO	A-3 (0)	Arena fina



1.00 GRANULOMETRÍA DEL SUELO

NORMA: ASTM D 422 - MTCE 107 - 2000

Proyecto: Calibración de la Ecuación de Correlación entre el P.D.C. y C.B.R. bajo incidencia de la humedad, en Suelos a Nivel de la Subrasante caso de estudio vía Juliaca - Caracoto.

Ubicación: Juliaca - Puno - Perú

Fecha: 07/11/2018

Operador: J.O.P.N

Calicata: C-12

Progresiva: 2+ 875.00

Cota Superficial : 3,828.00msnm

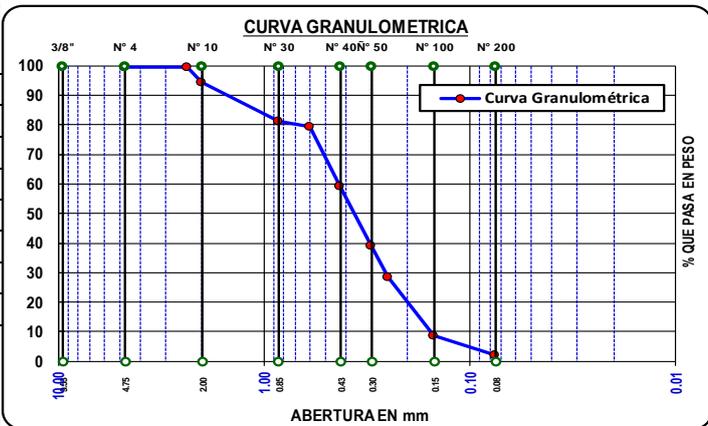
Coordenada (E- N): 381378.00 8280001.00

Revisado por : Ing. R.L.Y.T

Profundidad Total : 1.50m

Muestra	Características	Porcentaje que pasa	Coefficientes
E-03			
Peso Inicial Seco : 500.00gr	⇒ D10 : 0.16	⇒ N°4 : 99.43	⇒ Cu : 2.66
Peso D/lavado : 489.10gr	⇒ D30 : 0.26	⇒ N°200 : 2.05	⇒ Cc : 0.94
Pérdida : 10.90	⇒ D60 : 0.43		⇒ (IG) : 0

Tamiz	Abertura (mm)	Peso retenido (gr)	% retenido parcial	%retenido acumulado	% que pasa
N°4	4.75	2.83	0.567	0.57	99.43
N°8	2.36	0.56	0.113	0.68	99.32
N°10	2.00	25.40	5.081	5.76	94.24
N°20	0.85	64.70	12.941	18.70	81.30
N°30	0.60	9.04	1.808	20.51	79.49
N°40	0.43	101.44	20.289	40.80	59.20
N°50	0.30	99.78	19.957	60.75	39.25
N°60	0.25	54.08	10.817	71.5716	28.43
N°100	0.15	97.79	19.559	91.13	8.87
N°200	0.075	34.08	6.817	97.9472	2.05
Fondo		10.26	2.05	100	0
Total		500.00	100		



2.00 LÍMITES DE CONSISTENCIA

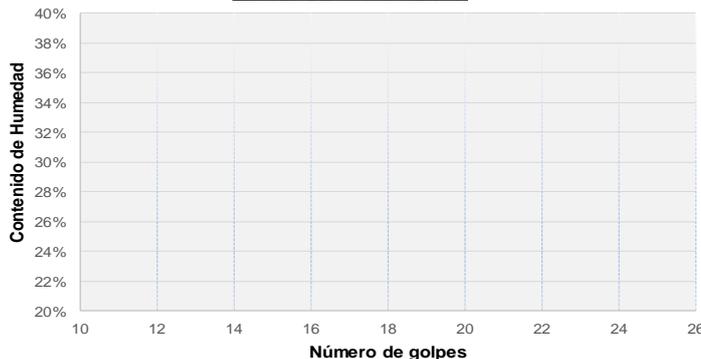
NORMA: ASTM D 4318 - MTCE 110, 111 - 2000

N° de ensayo	Límite Líquido				Límite plástico		
	1	2	3	4	1	2	3
N° de capsula	---	---	---	---	---	---	---
Peso de capsula (gr)	---	---	---	---	---	---	---
Peso de capsula + M. húmeda (gr)	---	---	---	---	---	---	---
Peso de capsula+ M. seca (gr)	---	---	---	---	---	---	---
Peso del agua (gr)	---	---	---	---	---	---	---
Peso de la Muestra seca (gr)	---	---	---	---	---	---	---
Contenido de Humedad (%)	---	---	---	---	---	---	---
N° de golpes	---	---	---	---			
Promedio C. de humedad (%)	---	---	---	---			

RESUMEN DE RESULTADOS

LL= NP
 LP= NP
 IP= NP

LÍMITES DE CONSISTENCIA



TIPO DE SUELO QUE CLASIFICA

Según:	Simbología	Descripción
SUCS	SP	Arena pobremente graduada
AASHTO	A-3 (0)	Arena fina



1.00 GRANULOMETRÍA DEL SUELO

NORMA: ASTM D 422 - MTCE 107 - 2000

Proyecto: Calibración de la Ecuación de Correlación entre el P.D.C. y C.B.R. bajo incidencia de la humedad, en Suelos a Nivel de la Subrasante caso de estudio vía Juliaca – Caracoto.

Ubicación: Juliaca - Puno - Perú

Fecha: 07/11/2018

Operador: J.O.P.N

Calicata: C-13

Progresiva: 3+ 125.00

Cota Superficial : 3,825.00msnm

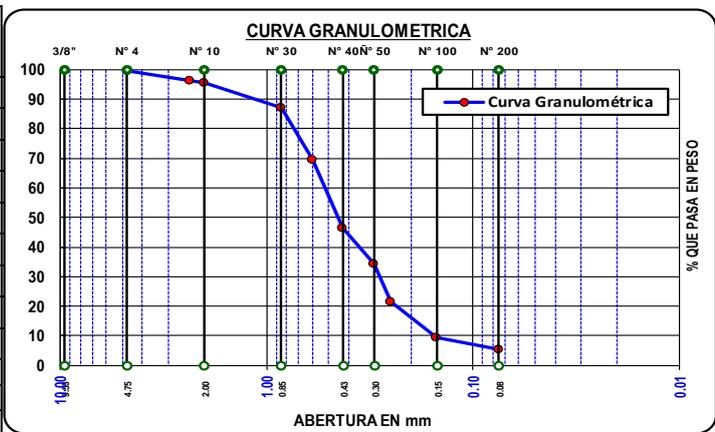
Coordenada (E- N): 381476.00 8279763.00

Revisado por : Ing. R.L.Y.T

Profundidad Total : 1.50m

Muestra	Características	Porcentaje que pasa	Coefficientes
E-02			
Peso Inicial Seco :	500.00gr	⇒ D10 : 0.16	⇒ Cu : 3.25
Peso D/lavado :	473.20gr	⇒ D30 : 0.28	⇒ Cc : 0.93
Pérdida :	26.80	⇒ D60 : 0.53	⇒ (IG) : 0

Tamiz	Abertura (mm)	Peso retenido (gr)	% retenido parcial	%retenido acumulado	% que pasa
Nº4	4.75	2.56	0.511	0.51	99.49
Nº8	2.36	16.40	3.279	3.79	96.21
Nº10	2.00	3.71	0.741	4.53	95.47
Nº20	0.85	42.56	8.511	13.04	86.96
Nº30	0.60	87.20	17.439	30.48	69.52
Nº40	0.43	115.25	23.049	53.53	46.47
Nº50	0.30	60.01	12.001	65.53	34.47
Nº60	0.25	65.58	13.115	78.6476	21.35
Nº100	0.15	60.01	12.001	90.65	9.35
Nº200	0.075	19.63	3.925	94.574	5.43
Fondo		27.13	5.43	100	0
Total		500.00	100		



2.00 LÍMITES DE CONSISTENCIA

NORMA: ASTM D 4318 - MTCE 110, 111 - 2000

Nº de ensayo	Límite Líquido				Límite plástico		
	1	2	3	4	1	2	3
Nº de capsula	---	---	---	---	---	---	---
Peso de capsula (gr)	---	---	---	---	---	---	---
Peso de capsula + M. húmeda (gr)	---	---	---	---	---	---	---
Peso de capsula+ M. seca (gr)	---	---	---	---	---	---	---
Peso del agua (gr)	---	---	---	---	---	---	---
Peso de la Muestra seca (gr)	---	---	---	---	---	---	---
Contenido de Humedad (%)	---	---	---	---	---	---	---
Nº de golpes	---	---	---	---			
Promedio C. de humedad (%)	---	---	---	---			

RESUMEN DE RESULTADOS

LL= NP
 LP= NP
 IP= NP



TIPO DE SUELO QUE CLASIFICA

Según:	Simbología	Descripción
SUICS	SP	Arena pobremente graduada
AASHTO	A-3 (0)	Arena fina



1.00 GRANULOMETRÍA DEL SUELO

NORMA: ASTM D 422 - MTCE 107 - 2000

Proyecto: Calibración de la Ecuación de Correlación entre el P.D.C. y C.B.R. bajo incidencia de la humedad, en Suelos a Nivel de la Subrasante caso de estudio vía Juliaca – Caracoto.

Ubicación: Juliaca - Puno - Perú

Fecha: 07/11/2018

Operador: J.O.P.N

Calicata: C-14

Progresiva: 3+ 375.00

Cota Superficial : 3,827.00msnm

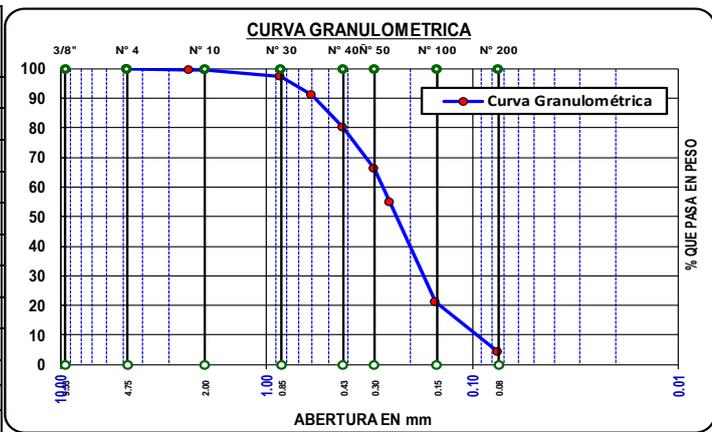
Coordenada (E- N): 381579.00 8279528.00

Revisado por : Ing. R.L.Y.T

Profundidad Total : 1.50m

Muestra	Características	Porcentaje que pasa	Coefficientes
Muestra : E-03 Peso Inicial Seco : 500.00gr Peso D/lavado : 480.40gr Pérdida : 19.60	D10 : 0.10 D30 : 0.18 D60 : 0.27	N°4 : 99.85 N°200 : 4.16	Cu : 2.71 Cc : 1.13 (IG) : 0

Tamiz	Abertura (mm)	Peso retenido (gr)	% retenido parcial	%retenido acumulado	% que pasa
N°4	4.75	0.73	0.147	0.15	99.85
N°8	2.36	1.48	0.297	0.44	99.56
N°10	2.00	0.73	0.147	0.59	99.41
N°20	0.85	10.66	2.133	2.72	97.28
N°30	0.60	30.40	6.081	8.80	91.20
N°40	0.43	56.39	11.279	20.08	79.92
N°50	0.30	68.11	13.623	33.71	66.29
N°60	0.25	57.80	11.561	45.2664	54.73
N°100	0.15	167.19	33.439	78.71	21.29
N°200	0.075	85.66	17.133	95.838	4.16
Fondo		20.81	4.16	100	0
Total		500.00	100		



2.00 LÍMITES DE CONSISTENCIA

NORMA: ASTM D 4318 - MTCE 110, 111 - 2000

N° de ensayo	Límite Líquido				Límite plástico		
	1	2	3	4	1	2	3
N° de capsula	---	---	---	---	---	---	---
Peso de cápsula (gr)	---	---	---	---	---	---	---
Peso de cápsula + M. húmeda (gr)	---	---	---	---	---	---	---
Peso de cápsula+ M. seca (gr)	---	---	---	---	---	---	---
Peso del agua (gr)	---	---	---	---	---	---	---
Peso de la Muestra seca (gr)	---	---	---	---	---	---	---
Contenido de Humedad (%)	---	---	---	---	---	---	---
N° de golpes	---	---	---	---			
Promedio C. de humedad (%)	---	---	---	---			

RESUMEN DE RESULTADOS

LL= NP
 LP= NP
 IP= NP



TIPO DE SUELO QUE CLASIFICA

Según:	Simbología	Descripción
SUCS	SP	Arena pobremente graduada
AASHTO	A-3 (0)	Arena fina



1.00 GRANULOMETRÍA DEL SUELO

NORMA: ASTM D 422 - MTCE 107 - 2000

Proyecto: Calibración de la Ecuación de Correlación entre el P.D.C. y C.B.R. bajo incidencia de la humedad, en Suelos a Nivel de la Subrasante caso de estudio vía Juliaca – Caracoto.

Ubicación: Juliaca - Puno - Perú

Cota Superficial : 38,829.00msnm

Fecha: 07/11/2018

Coordenada (E- N): 381680.00 8279292.00

Operador: J.O.P.N

Revisado por : Ing. R.L.Y.T

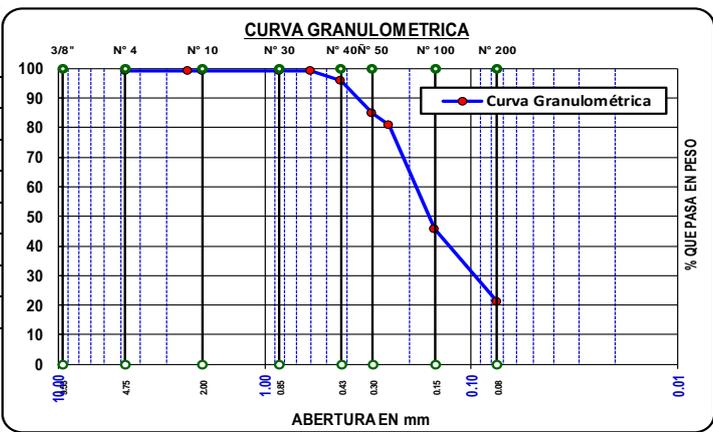
Calicata: C-15

Progresiva: 3+ 625.00

Profundidad Total : 1.50m

Muestra	Características	Porcentaje que pasa	Coefficientes
E-03			
Peso Inicial Seco :	500.00gr	⇒ D10 : 0.04	⇒ Cu : 5.34
Peso D/lavado :	404.60gr	⇒ D30 : 0.10	⇒ Cc : 1.53
Pérdida :	95.40	⇒ D60 : 0.19	⇒ (IG) : 0

Tamiz	Abertura (mm)	Peso retenido (gr)	% retenido parcial	%retenido acumulado	% que pasa
Nº4	4.75	3.51	0.702	0.70	99.30
Nº8	2.36	0.11	0.022	0.72	99.28
Nº10	2.00	0.01	0.002	0.73	99.27
Nº20	0.85	0.02	0.004	0.73	99.27
Nº30	0.60	1.54	0.308	1.04	98.96
Nº40	0.43	16.13	3.226	4.26	95.74
Nº50	0.30	53.66	10.732	15.00	85.00
Nº60	0.25	21.81	4.362	19.358	80.64
Nº100	0.15	174.48	34.896	54.25	45.75
Nº200	0.075	123.78	24.756	79.01	20.99
Fondo		104.95	20.99	100	0
Total		500.00	100		



2.00 LÍMITES DE CONSISTENCIA

NORMA: ASTM D 4318 - MTCE 110, 111 - 2000

Nº de ensayo	Límite Líquido				Límite plástico		
	1	2	3	4	1	2	3
Nº de capsula	---	---	---	---	---	---	---
Peso de capsula (gr)	---	---	---	---	---	---	---
Peso de capsula + M. húmeda (gr)	---	---	---	---	---	---	---
Peso de capsula+ M. seca (gr)	---	---	---	---	---	---	---
Peso del agua (gr)	---	---	---	---	---	---	---
Peso de la Muestra seca (gr)	---	---	---	---	---	---	---
Contenido de Humedad (%)	---	---	---	---	---	---	---
Nº de golpes	---	---	---	---			
Promedio C. de humedad (%)	---	---	---	---			

RESUMEN DE RESULTADOS

LL= NP
 LP= NP
 IP= NP



TIPO DE SUELO QUE CLASIFICA

Según:	Simbología	Descripción
SJCS	SP	Arena pobremente graduada
AASHTO	A-3 (0)	Arena fina



1.00 GRANULOMETRÍA DEL SUELO

NORMA: ASTM D 422 - MTCE 107 - 2000

Proyecto: Calibración de la Ecuación de Correlación entre el P.D.C y C.B.R bajo incidencia de la humedad, en Suelos a Nivel de la Subrasante caso de estudio vía Juliaca – Caracoto.

Ubicación: Juliaca - Puno - Perú

Fecha: 07/11/2018

Operador: J.O.P.N

Calicata: C-16

Progresiva: 3+ 750.00

Cota Superficial : 3,830.00msnm

Coordenada (E- N): 381788.00 8279030.00

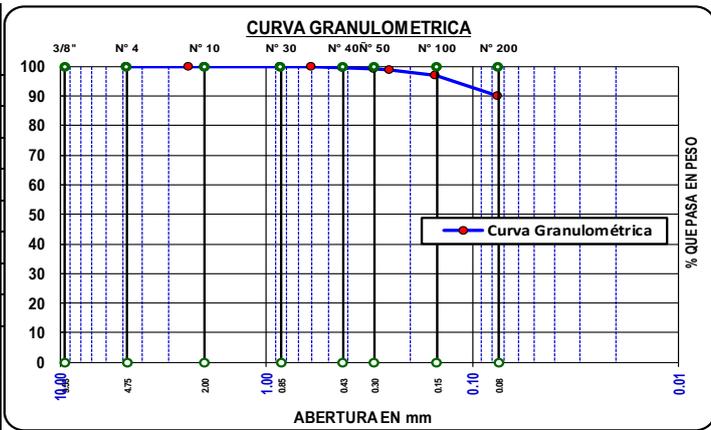
Revisado por : Ing. R.L.Y.T

Profundidad Total : 1.50m

Muestra	Características	Porcentaje que pasa	Coefficientes
: E-02			
Peso Inicial Seco : 500.00gr	⇒ D10 :	⇒ N°4 : 100.00	⇒ Cu :
Peso D/lavado : 52.00gr	⇒ D30 :	⇒ N°200 : 89.84	⇒ Cc :
Pérdida : 448.00	⇒ D60 :		⇒ (IG) : 8

Calicata: suelo arcilloso

Tamiz	Abertura (mm)	Peso retenido (gr)	% retenido parcial	%retenido acumulado	% que pasa
N°4	4.75	0.00	0.000	0.00	100.00
N°8	2.36	0.28	0.056	0.06	99.94
N°10	2.00	0.08	0.016	0.07	99.93
N°20	0.85	0.52	0.104	0.18	99.82
N°30	0.60	0.69	0.138	0.31	99.69
N°40	0.43	1.29	0.258	0.57	99.43
N°50	0.30	2.44	0.488	1.06	98.94
N°60	0.25	1.76	0.352	1.412	98.59
N°100	0.15	8.96	1.792	3.20	96.80
N°200	0.075	34.78	6.956	10.16	89.84
Fondo		449.20	89.84	100	0
Total		500.00	100		



2.00 LÍMITES DE CONSISTENCIA

NORMA: ASTM D 4318 - MTCE 110, 111 - 2000

N° de ensayo	Límite Líquido				Límite plástico		
	1	2	3	4	1	2	3
N° de capsula	T-48	T-33	T-45	T-41	T-031	T-008	T-0705
Peso de cápsula (gr)	15.04	15.15	13.94	13.4	7.89	11.56	7.83
Peso de cápsula + M. húmeda (gr)	45.04	46.45	40.6	39.95	11.09	13.15	10.16
Peso de cápsula+ M. seca (gr)	38.04	39.04	34.16	33.29	10.42	12.82	9.7
Peso del agua (gr)	7.00	7.41	6.44	6.66	0.67	0.33	0.46
Peso de la Muestra seca (gr)	23	23.89	20.22	19.89	2.53	1.26	1.87
Contenido de Humedad (%)	30.43%	31.02%	31.85%	33.48%	26.48%	26.19%	24.60%
N° de golpes	32	28	21	18	25.76%		
Promedio C. de humedad (%)	-----	-----	-----	-----			

RESUMEN DE RESULTADOS

LL= 31.53%
 LP= 25.76%
 IP= 5.77%



TIPO DE SUELO QUE CLASIFICA

Según:	Simbología	Descripción
SJCS	ML	Limo de baja plasticidad
AASHTO	A-4 (8)	Arena fina



1.00 GRANULOMETRÍA DEL SUELO

NORMA: ASTM D 422 - MTCE 107 - 2000

Proyecto: Calibración de la Ecuación de Correlación entre el P.D.C. y C.B.R. bajo incidencia de la humedad, en Suelos a Nivel de la Subrasante caso de estudio vía Juliaca – Caracoto.

Ubicación: Juliaca - Puno - Perú

Fecha: 07/11/2018

Operador: J.O.P.N

Calicata: C-16-2

Progresiva: 3+ 750.00

Cota Superficial : 3,830.00msnm

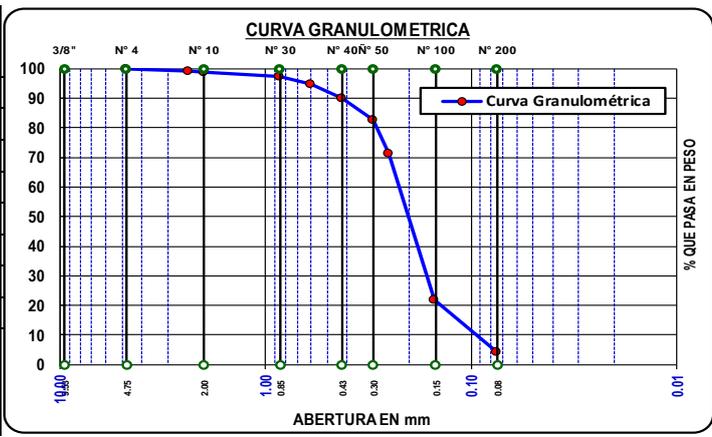
Coordenada (E- N): 381788.00 8279030.00

Revisado por : Ing. R.L.Y.T

Profundidad Total : 1.50m

Muestra	Características	Porcentaje que pasa	Coefficientes
E-03			
Peso Inicial Seco :	500.00gr	⇒ D10 : 0.10	⇒ Cu : 2.29
Peso D/lavado :	478.80gr	⇒ D30 : 0.17	⇒ Cc : 1.23
Pérdida :	21.20	⇒ D60 : 0.23	⇒ (IG) : 0

Tamiz	Abertura (mm)	Peso retenido (gr)	% retenido parcial	%retenido acumulado	% que pasa
Nº4	4.75	1.38	0.276	0.28	99.72
Nº8	2.36	3.86	0.772	1.05	98.95
Nº10	2.00	0.96	0.192	1.24	98.76
Nº20	0.85	7.69	1.538	2.78	97.22
Nº30	0.60	11.94	2.388	5.17	94.83
Nº40	0.43	23.72	4.744	9.91	90.09
Nº50	0.30	37.49	7.498	17.41	82.59
Nº60	0.25	56.43	11.286	28.694	71.31
Nº100	0.15	247.84	49.568	78.26	21.74
Nº200	0.075	86.49	17.298	95.56	4.44
Fondo		22.20	4.44	100	0
Total		500.00	100		



2.00 LÍMITES DE CONSISTENCIA

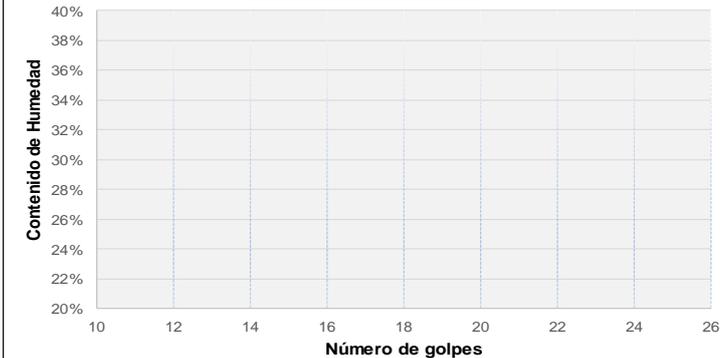
NORMA: ASTM D 4318 - MTCE 110, 111 - 2000

Nº de ensayo	Límite Líquido				Límite plástico		
	1	2	3	4	1	2	3
Nº de capsula	---	---	---	---	---	---	---
Peso de cápsula (gr)	---	---	---	---	---	---	---
Peso de cápsula + M. húmeda (gr)	---	---	---	---	---	---	---
Peso de cápsula+ M. seca (gr)	---	---	---	---	---	---	---
Peso del agua (gr)	---	---	---	---	---	---	---
Peso de la Muestra seca (gr)	---	---	---	---	---	---	---
Contenido de Humedad (%)	---	---	---	---	---	---	---
Nº de golpes	---	---	---	---			
Promedio C. de humedad (%)	---	---	---	---			

RESUMEN DE RESULTADOS

LL= NP
 LP= NP
 IP= NP

LÍMITES DE CONSISTENCIA



TIPO DE SUELO QUE CLASIFICA

Según:	Simbología	Descripción
SUCS	SP	Arena pobremente graduada
AASHTO	A-3 (0)	Arena fina

ANEXO B-3: CAPACIDAD DE SOPORTE CALIFORNIA (C.B.R)



ENSAYO DE CBR SOBRE MUESTRA INALTERADA

NORMA: ASTM D 1883 - MTCE132

Proyecto : Calibración de la Ecuación de Correlación entre el P.D.C y C.B.R. bajo incidencia de la humedad, en Suelos a Nivel de la Subrasante caso de estudio vía Juliaca – Caracoto.
Ubicación : Juliaca - Puno - Perú
Fecha : 06/11/2018
Operador : J.Q.P.N
Calicata : C-01 **Progresiva:** 0+ 125.00

Cota Superficial : 3,823.00msnm
Coordenada (Este) : 380272.00
Coordenada (Norte) : 8282621.00
Profundidad Total : 1.50m

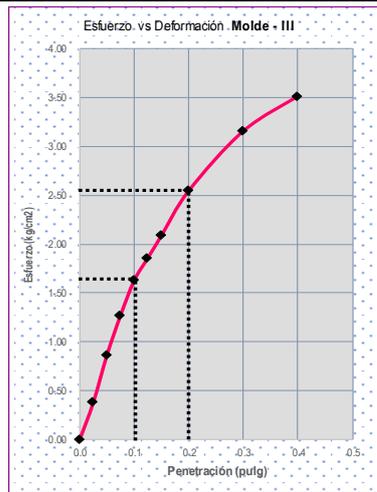
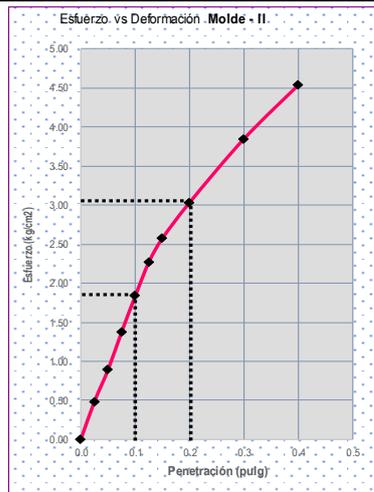
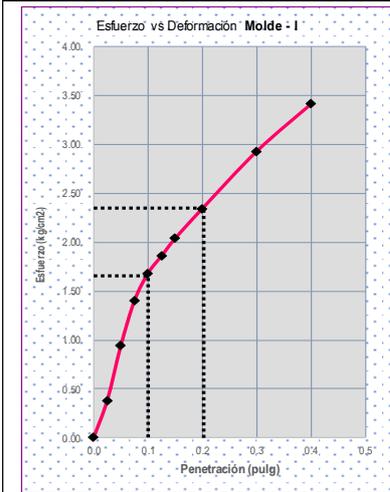
1.00 CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA Y MOLDE

MOLDE	I			II			III		
Altura Molde (cm)	11.4			11.4			11.4		
Diámetro Molde (cm)	15.3			15.3			15.3		
Área Molde (cm ²)	183.85			183.85			183.85		
Condición de la Muestra	Inalterada			Inalterada			Inalterada		
P.Húm. + Molde (gr)	11,501.00			11,151.00			11,151.00		
Peso Molde (gr)	7,608.00			7,261.00			7,261.00		
Peso Húmedo (gr)	3,893.00			3,890.00			3,890.00		
Vol. Molde (cc)	2,095.93			2,095.93			2,095.93		
Densidad Húmeda. (gr/cm ³)	1.86			1.86			1.86		
Número de Ensayo	1-A	1-B	1-C	2-A	2-B	2-C	3-A	3-B	3-C
P.Húm. + Tara (gr)	178.57	147.04	167.06	178.57	147.04	167.06	178.57	147.04	167.06
Peso Seco + Tara (gr)	137.53	113.37	128.04	137.53	113.37	128.04	137.53	113.37	128.04
Peso Agua (gr)	41.04	33.67	39.02	41.04	33.67	39.02	41.04	33.67	39.02
Peso Tara (gr)	15.51	15.19	14.34	15.51	15.19	14.34	15.51	15.19	14.34
P. muestra Seca (gr)	122.02	98.18	113.7	122.02	98.18	113.7	122.02	98.18	113.7
Cont. De Humedad %	33.63%	34.29%	34.32%	33.63%	34.29%	34.32%	33.63%	34.29%	34.32%
Cont. Hume. Prom.	34.08%			34.08%			34.08%		
Densidad Seca. (gr/cm ³)	1.385			1.384			1.384		

2.00 ENSAYO CARGA - PENETRACIÓN

Area del pison: 19.24

PENETRACIÓN		MOLDE - I			MOLDE - II			MOLDE - III		
(mm)	(Pulg)	CARGA	ESFUERZO	% CBR	CARGA	ESFUERZO	% CBR	CARGA	ESFUERZO	% CBR
0.000	0.000	0	0.00		0	0.00		0	0.00	
0.63= 30s	0.025	7.5	0.38		9.5	0.48		7.5	0.38	
1.27 = 1.0m	0.050	18.5	0.94		17.5	0.89		17	0.87	
1.9= 1.50m	0.075	27.5	1.40		27	1.38		25	1.27	
2.54= 2m	0.100	33	1.68	2.39%	36	1.83	2.61%	32	1.63	2.32%
3.17= 2.5m	0.125	36.5	1.86		44.5	2.27		36.5	1.86	
3.81= 3m	0.150	40	2.04		50.5	2.57		41	2.09	
5.08= 4m	0.200	46	2.34	2.22%	59.5	3.03	2.87%	50	2.55	2.41%
7.62= 6m	0.300	57.5	2.93		75.5	3.85		62	3.16	
10.16= 8m	0.400	67	3.41		89	4.53		69	3.51	
		Promedio del valor de CBR			Promedio del valor de CBR			Promedio del valor de CBR		
				2.31%			2.74%			



3.00 RESUMEN DE LOS RESULTADOS

Molde	Condición de Muestra	Humedad (%W)	Densidad Húmeda (gr/cm ³)	Densidad Seca (gr/cm ³)	Valor de CBR (0.1")	Valor de CBR (0.2")	CBR PROMEDIO (%)
I	Inalterada	34.08%	1.86	1.385	2.39%	2.22%	2.39%
II	Inalterada	34.08%	1.86	1.384	2.61%	2.87%	2.87%
III	Inalterada	34.08%	1.86	1.384	2.32%	2.41%	2.41%
RESULTADOS		34.08%	1.86	1.38	2.44%	2.50%	2.50%



ENSAYO DE CBR SOBRE MUESTRA INALTERADA

NORMA: ASTM D 1883 - MTCE132

Proyecto : Calibración de la Ecuación de Correlación entre el P.D.C y CBR bajo incidencia de la humedad, en Suelos a Nivel de la Subrasante caso de estudio vía Juliaca – Caracoto.
Ubicación : Juliaca - Puno - Perú
Fecha : 06/11/2018
Operador : J.Q.P.N
Calicata : C-01-2 **Progresiva:** 0+ 125.00
Cota Superficial : 3,823.00msnm
Coordenada (Este) : 380272.00
Coordenada (Norte) : 8282621.00
Profundidad Total : 1.50m

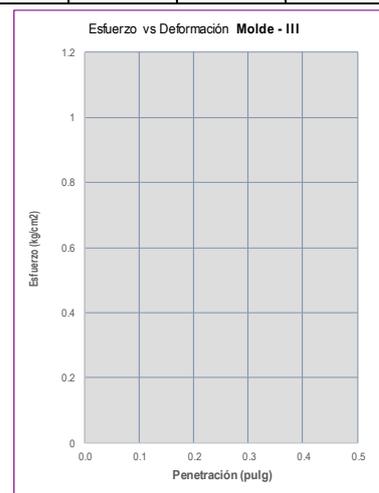
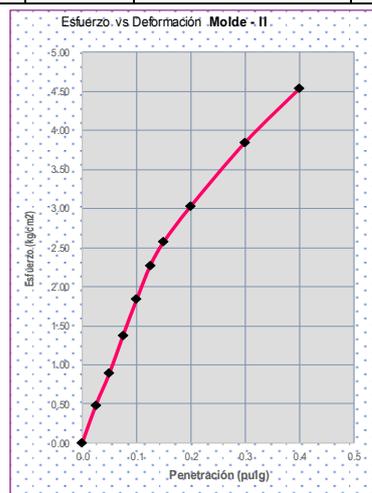
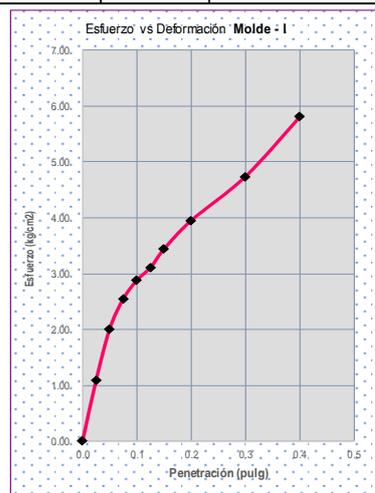
1.00 CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA Y MOLDE

MOLDE	I			II			III		
Altura Molde (cm)	11.4			11.4					
Diámetro Molde (cm)	15.3			15.3					
Área Molde (cm ²)	183.85			183.85					
Condición de la Muestra	Inalterada			Inalterada			Inalterada		
P.Húm. + Molde (gr)	11,454.00			11,151.00					
Peso Molde (gr)	7,608.00			7,261.00					
Peso Húmedo (gr)	3,846.00			3,890.00					
Vol. Molde (cc)	2,095.93			2,095.93					
Densidad Húmeda. (gr/cm ³)	1.83			1.86					
Número de Ensayo	1-A	1-B	1-C	2-A	2-B	2-C	3-A	3-B	3-C
P.Húm. + Tara (gr)	178.57	147.04	167.06	178.57	147.04	167.06			
Peso Seco + Tara (gr)	137.53	113.37	128.04	137.53	113.37	128.04			
Peso Agua (gr)	41.04	33.67	39.02	41.04	33.67	39.02			
Peso Tara (gr)	15.51	15.19	14.34	15.51	15.19	14.34			
P. muestra Seca (gr)	122.02	98.18	113.7	122.02	98.18	113.7			
Cont. De Humedad %	33.63%	34.29%	34.32%	33.63%	34.29%	34.32%			
Cont. Hume. Prom.	34.08%			34.08%					
Densidad Seca. (gr/cm³)	1.369			1.384					

2.00 ENSAYO CARGA - PENETRACIÓN

Area del pison: 19.24

PENETRACIÓN		MOLDE - I			MOLDE - II			MOLDE - III			
(mm)	(Pulg)	CARGA	ESFUERZO	% CBR	CARGA	ESFUERZO	% CBR	CARGA	ESFUERZO	% CBR	
0.000	0.000	0	0.00		0	0.00					
0.63= 30s	0.025	21.5	1.09		9.5	0.48					
1.27 = 1.0m	0.050	39.5	2.01		17.5	0.89					
1.9= 1.50m	0.075	50	2.55		27	1.38					
2.54= 2m	0.100	56.5	2.88	4.09%	36	1.83	2.61%				
3.17= 2.5m	0.125	61	3.11		44.5	2.27					
3.81= 3m	0.150	67.5	3.44		50.5	2.57					
5.08= 4m	0.200	77.5	3.95	3.74%	59.5	3.03	2.87%				
7.62= 6m	0.300	93	4.74		75.5	3.85					
10.16= 8m	0.400	114	5.81		89	4.53					
		Promedio del valor de CBR			3.92%	Promedio del valor de CBR			2.74%		



3.00 RESUMEN DE LOS RESULTADOS

Molde	Condición de Muestra	Humedad (%W)	Densidad Húmeda (gr/cm ³)	Densidad Seca (gr/cm ³)	Valor de CBR (0.1")	Valor de CBR (0.2")	CBR PROMEDIO (%)
I	Inalterada	34.08%	1.83	1.369	4.09%	3.74%	4.09%
II	Inalterada	34.08%	1.86	1.384	2.61%	2.87%	2.87%
RESULTADOS:		34.08%	1.85	1.38	3.35%	3.31%	3.35%



ENSAYO DE CBR SOBRE MUESTRA INALTERADA

NORMA: ASTM D 1883 - MTCE132

Proyecto : Calibración de la Ecuación de Correlación entre el P.D.C y C.B.R. bajo incidencia de la humedad, en Suelos a Nivel de la Subrasante caso de estudio vía Juliaca – Caracoto.
Ubicación : Juliaca - Puno - Perú
Fecha : 07/11/2018
Operador : J.Q.P.N
Calicata : C-02 **Progresiva:** 0+ 375.00
Cota Superficial : 3,823.00msnm
Coordenada (Este) : 380369.00
Coordenada (Norte) : 8282385.00
Profundidad Total : 1.50m

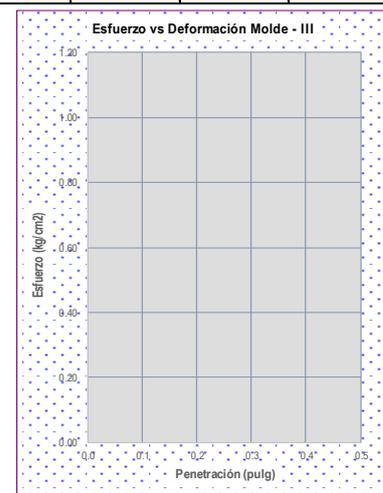
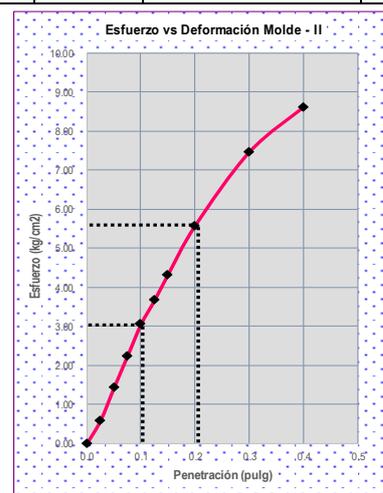
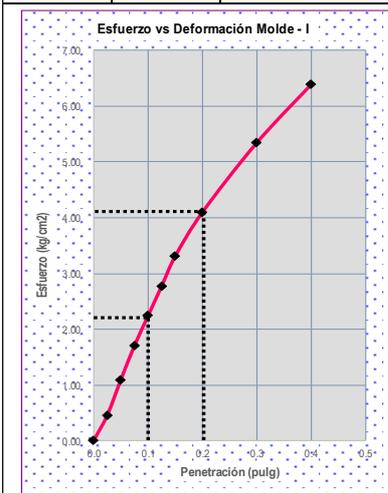
1.00 CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA Y MOLDE

MOLDE	I			II			III		
Altura Molde (cm)	11.50			11.70					
Diámetro Molde (cm)	15.20			15.20					
Área Molde (cm ²)	181.46			181.46					
Condición de la Muestra	Inalterada			Inalterada			Inalterada		
P.Húm. + Molde (gr)	11,779.00			11,419.00					
Peso Molde (gr)	7,742.00			7,330.00					
Peso Húmedo (gr)	4,037.00			4,089.00					
Vol. Molde (cc)	2,086.77			2,123.06					
Densidad Húmeda. (gr/cm ³)	1.93			1.93					
Número de Ensayo	1-A	1-B	1-C	2-A	2-B	2-C	3-A	3-B	3-C
P.Húm. + Tara (gr)	222.49	187.06	173.27	233.26	225.3	202.66			
Peso Seco + Tara (gr)	175.51	147.88	138.77	180.44	174.23	158.96			
Peso Agua (gr)	46.98	39.18	34.5	52.82	51.07	43.7			
Peso Tara (gr)	15.48	15.91	14.28	14.94	13.24	13.84			
P. muestra Seca (gr)	160.03	131.97	124.49	165.5	160.99	145.12			
Cont. De Humedad %	29.36%	29.69%	27.71%	31.92%	31.72%	30.11%			
Cont. Hume. Prom.	28.92%			31.25%					
Densidad Seca. (gr/cm³)	1.501			1.467					

2.00 ENSAYO CARGA - PENETRACIÓN

Area del pison: 19.24

PENETRACIÓN		MOLDE - I			MOLDE - II			MOLDE - III		
(mm)	(Pulg)	CARGA	ESFUERZO	% CBR	CARGA	ESFUERZO	% CBR	CARGA	ESFUERZO	% CBR
0.000	0.000	0.00	0.00		0.00	0.00				
0.63= 30s	0.025	9.00	0.46		11.50	0.59				
1.27 = 1.0m	0.050	21.50	1.09		28.00	1.43				
1.9= 1.50m	0.075	33.50	1.71		44.00	2.24				
2.54= 2m	0.100	44.00	2.24	3.19%	60.00	3.06	4.35%			
3.17= 2.5m	0.125	54.50	2.78		72.00	3.67				
3.81= 3m	0.150	65.00	3.31		85.00	4.33				
5.08= 4m	0.200	80.50	4.10	3.89%	109.50	5.58	5.29%			
7.62= 6m	0.300	105.00	5.35		146.50	7.46				
10.16= 8m	0.400	125.50	6.39		169.00	8.61				
		Promedio del valor de CBR			Promedio del valor de CBR					
				3.54%			4.82%			



3.00 RESÚMEN DE LOS RESULTADOS

Molde	Condición de Muestra	Humedad (%W)	Densidad Húmeda (gr/cm ³)	Densidad Seca (gr/cm ³)	Valor de CBR (0.1")	Valor de CBR (0.2")	CBR PROMEDIO (%)
I	Inalterada	28.92%	1.93	1.501	3.19%	3.89%	3.89%
II	Inalterada	31.25%	1.93	1.467	4.35%	5.29%	5.29%
RESULTADOS:		30.08%	1.93	1.48	3.77%	4.59%	4.59%



ENSAYO DE CBR SOBRE MUESTRA INALTERADA

NORMA: ASTM D 1883 - MTCE132

Proyecto : Calibración de la Ecuación de Correlación entre el P.D.C y CBR bajo incidencia de la humedad, en Suelos a Nivel de la Subrasante caso de estudio vía Juliaca – Caracoto.
Ubicación : Juliaca - Puno - Perú
Fecha : 07/11/2018
Operador : J.Q.P.N
Calicata : C-03 **Progresiva:** 0+ 625.00
Cota Superficial : 3,824.00msnm
Coordenada (Este) : 380470.00
Coordenada (Norte) : 8282150.00
Profundidad Total : 1.50m

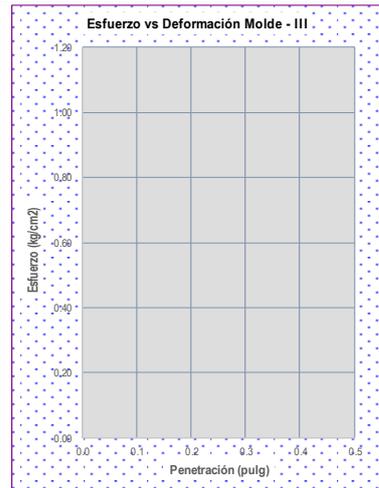
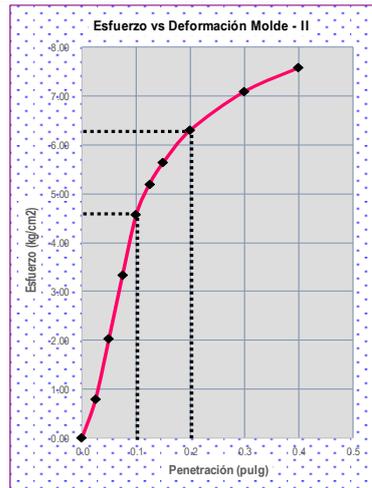
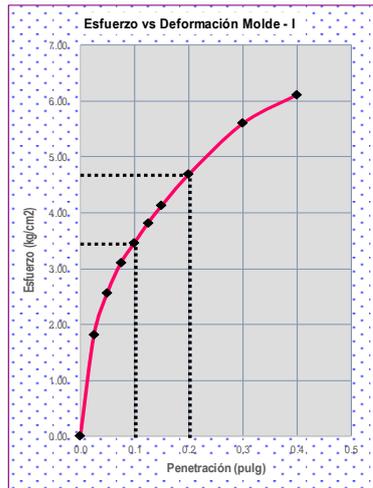
1.00 CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA Y MOLDE

MOLDE	I			II			III		
Altura Molde (cm)	11.70			11.60					
Diámetro Molde (cm)	15.10			15.10					
Área Molde (cm ²)	179.08			179.08					
Condición de la Muestra	Inalterada			Inalterada			Inalterada		
P.Húm. + Molde (gr)	11,664.00			11,901.00					
Peso Molde (gr)	7,609.00			7,778.00					
Peso Húmedo (gr)	4,055.00			4,123.00					
Vol. Molde (cc)	2,095.22			2,077.31					
Densidad Húmeda. (gr/cm ³)	1.94			1.98					
Número de Ensayo	1-A	1-B	1-C	2-A	2-B	2-C	3-A	3-B	3-C
P.Húm. + Tara (gr)	163.71	171.07	176.72	183.96	209.74	208.52			
Peso Seco + Tara (gr)	133.14	138.94	142.49	150.88	173.47	172.82			
Peso Agua (gr)	30.57	32.13	34.23	33.08	36.27	35.7			
Peso Tara (gr)	15.03	16.09	14.44	15.24	14.46	14.28			
P. muestra Seca (gr)	118.11	122.85	128.05	135.64	159.01	158.54			
Cont. De Humedad %	25.88%	26.15%	26.73%	24.39%	22.81%	22.52%			
Cont. Hume. Prom.	26.26%			23.24%					
Densidad Seca. (gr/cm³)	1.533			1.611					

2.00 ENSAYO CARGA - PENETRACIÓN

Area del pison: 19.24

PENETRACIÓN		MOLDE - I			MOLDE - II			MOLDE - III			
(mm)	(Pulg)	CARGA	ESFUERZO	% CBR	CARGA	ESFUERZO	% CBR	CARGA	ESFUERZO	% CBR	
0.000	0.000	0.00	0.00		0.00	0.00					
0.63= 30s	0.025	35.50	1.81		15.50	0.79					
1.27 = 1.0m	0.050	50.50	2.57		40.00	2.04					
1.9= 1.50m	0.075	61.00	3.11		65.50	3.34					
2.54= 2m	0.100	68.00	3.46	4.93%	89.50	4.56	6.48%				
3.17= 2.5m	0.125	75.00	3.82		102.00	5.19					
3.81= 3m	0.150	81.00	4.13		110.50	5.63					
5.08= 4m	0.200	92.00	4.69	4.44%	123.50	6.29	5.96%				
7.62= 6m	0.300	110.00	5.60		139.00	7.08					
10.16= 8m	0.400	120.00	6.11		148.50	7.56					
		Promedio del valor de CBR			4.68%	Promedio del valor de CBR			6.22%		



3.00 RESUMEN DE LOS RESULTADOS

Molde	Condición de Muestra	Humedad (%w)	Densidad Húmeda (gr/cm ³)	Densidad Seca (gr/cm ³)	Valor de CBR (0.1")	Valor de CBR (0.2")	CBR PROMEDIO (%)
I	Inalterada	26.26%	1.94	1.533	4.93%	4.44%	4.93%
II	Inalterada	23.24%	1.98	1.611	6.48%	5.96%	6.48%
RESULTADOS:		24.75%	1.96	1.57	5.70%	5.20%	5.70%



ENSAYO DE CBR SOBRE MUESTRA INALTERADA

NORMA: ASTM D 1883 - MTCE132

Proyecto : Calibración de la Ecuación de Correlación entre el P.D.C y CBR bajo incidencia de la humedad, en Suelos a Nivel de la Subrasante caso de estudio vía Juliaca – Caracoto.
Ubicación : Juliaca - Puno - Perú
Fecha : 07/11/2018
Operador : J.Q.P.N
Calicata : C-04 **Progresiva:** 0+ 875.00
Cota Superficial : 3,826.00msnm
Coordenada (Este) : 380571.00
Coordenada (Norte) : 8281907.00
Profundidad Total : 1.50m

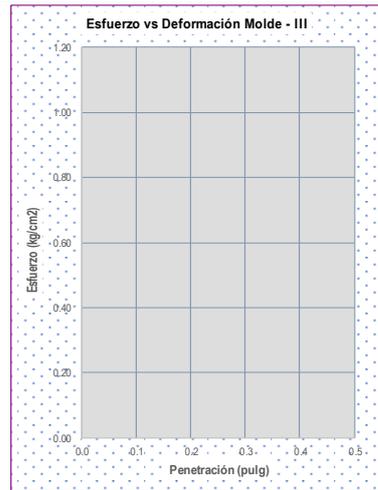
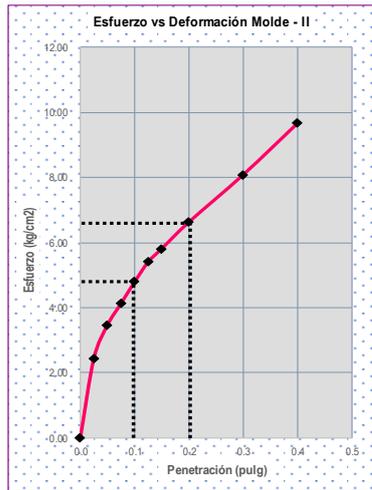
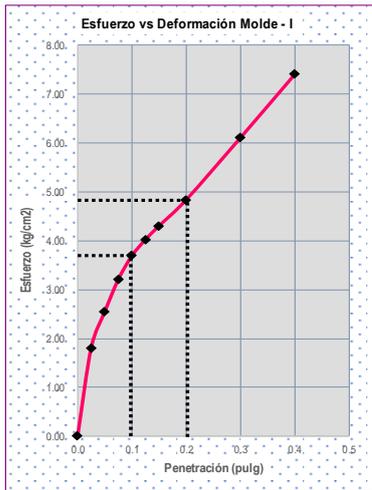
1.00 CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA Y MOLDE

MOLDE	I			II			III		
Altura Molde (cm)	11.70			11.80					
Diámetro Molde (cm)	15.10			15.10					
Área Molde (cm ²)	179.08			179.08					
Condición de la Muestra	Inalterada			Inalterada			Inalterada		
P.Húm. + Molde (gr)	11,415.00			11,215.00					
Peso Molde (gr)	7,527.00			7,262.00					
Peso Húmedo (gr)	3,888.00			3,953.00					
Vol. Molde (cc)	2,095.22			2,113.13					
Densidad Húmeda. (gr/cm ³)	1.86			1.87					
Número de Ensayo	1-A	1-B	1-C	2-A	2-B	2-C	3-A	3-B	3-C
P.Húm. + Tara (gr)	167.46	170.39	182.79	178.99	165.51	186.67			
Peso Seco + Tara (gr)	130.55	132.63	140.64	137.93	127.45	143.48			
Peso Agua (gr)	36.91	37.76	42.15	41.06	38.06	43.19			
Peso Tara (gr)	15.00	13.94	13.41	14.36	15.42	15.35			
P. muestra Seca (gr)	115.55	118.69	127.23	123.57	112.03	128.13			
Cont. De Humedad %	31.94%	31.81%	33.13%	33.23%	33.97%	33.71%			
Cont. Hume. Prom.	32.30%			33.64%					
Densidad Seca. (gr/cm³)	1.403			1.400					

2.00 ENSAYO CARGA - PENETRACIÓN

Area del pison: 19.24

PENETRACIÓN		MOLDE - I			MOLDE - II			MOLDE - III			
(mm)	(Pulg)	CARGA	ESFUERZO	% CBR	CARGA	ESFUERZO	% CBR	CARGA	ESFUERZO	% CBR	
0.000	0.000	0.00	0.00		0.00	0.00					
0.63= 30s	0.025	35.50	1.81		48.00	2.44					
1.27= 1.0m	0.050	50.00	2.55		68.00	3.46					
1.9= 1.50m	0.075	63.00	3.21		81.00	4.13					
2.54= 2m	0.100	72.50	3.69	5.25%	94.00	4.79	6.81%				
3.17= 2.5m	0.125	79.00	4.02		106.00	5.40					
3.81= 3m	0.150	84.50	4.30		114.00	5.81					
5.08= 4m	0.200	95.00	4.84	4.59%	130.00	6.62	6.28%				
7.62= 6m	0.300	120.00	6.11		158.50	8.07					
10.16= 8m	0.400	145.50	7.41		189.50	9.65					
		Promedio del valor de CBR			4.92%	Promedio del valor de CBR			6.54%		



3.00 RESUMEN DE LOS RESULTADOS

Molde	Condición de Muestra	Humedad (%W)	Densidad Húmeda (gr/cm ³)	Densidad Seca (gr/cm ³)	Valor de CBR (0.1")	Valor de CBR (0.2")	CBR PROMEDIO (%)
I	Inalterada	32.30%	1.86	1.403	5.25%	4.59%	5.25%
II	Inalterada	33.64%	1.87	1.400	6.81%	6.28%	6.81%
RESULTADOS:		32.97%	1.86	1.40	6.03%	5.43%	6.03%



ENSAYO DE CBR SOBRE MUESTRA INALTERADA

NORMA: ASTM D 1883 - MTCE132

Proyecto : Calibración de la Ecuación de Correlación entre el P.D.C y C.B.R. bajo incidencia de la humedad, en Suelos a Nivel de la Subrasante caso de estudio vía Juliaca – Caracoto.
Ubicación : Juliaca - Puno - Perú
Fecha : 07/11/2018
Operador : J.Q.P.N
Calicata : C-05 **Progresiva:** 1+ 125.00
Cota Superficial : 3,826.00msnm
Coordenada (Este) : 380670.00
Coordenada (Norte) : 8281679.00
Profundidad Total : 1.50m

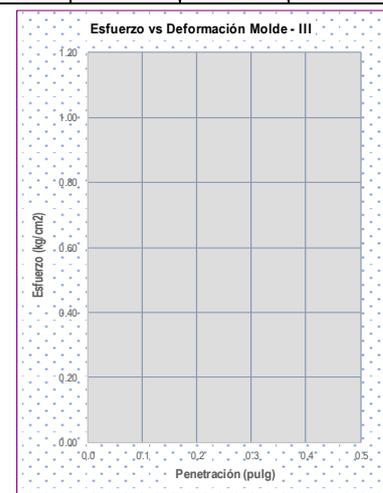
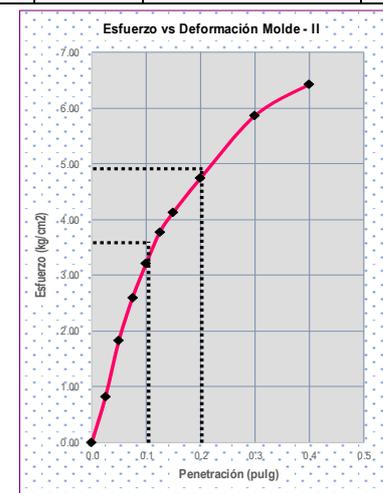
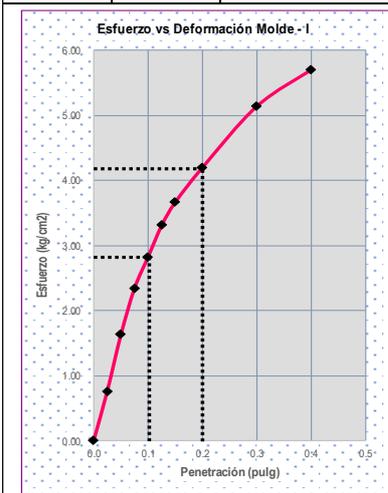
1.00 CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA Y MOLDE

MOLDE	I			II			III		
Altura Molde (cm)	11.60			11.70					
Diámetro Molde (cm)	15.10			15.10					
Área Molde (cm ²)	179.08			179.08					
Condición de la Muestra	Inalterada			Inalterada			Inalterada		
P.Húm. + Molde (gr)	12,004.00			12,171.00					
Peso Molde (gr)	8,430.00			8,341.00					
Peso Húmedo (gr)	3,574.00			3,830.00					
Vol. Molde (cc)	2,077.31			2,095.22					
Densidad Húmeda. (gr/cm ³)	1.72			1.83					
Número de Ensayo	1-A	1-B	1-C	2-A	2-B	2-C	3-A	3-B	3-C
P.Húm. + Tara (gr)	172.93	153.51	152.47	146.77	161.66	164.92			
Peso Seco + Tara (gr)	127.2	113.94	113.6	108.01	116.78	118.12			
Peso Agua (gr)	45.73	39.57	38.87	38.76	44.88	46.8			
Peso Tara (gr)	15.15	15.00	15.01	14.93	15.49	16.42			
P. muestra Seca (gr)	112.05	98.94	98.59	93.08	101.29	101.70			
Cont. De Humedad %	40.81%	39.99%	39.43%	41.64%	44.31%	46.02%			
Cont. Hume. Prom.	40.08%			43.99%					
Densidad Seca. (gr/cm³)	1.228			1.270					

2.00 ENSAYO CARGA - PENETRACIÓN

Área del pison: 19.24

PENETRACIÓN		MOLDE - I			MOLDE - II			MOLDE - III		
(mm)	(Pulg)	CARGA	ESFUERZO	% CBR	CARGA	ESFUERZO	% CBR	CARGA	ESFUERZO	% CBR
0.000	0.000	0.00	0.00		0.00	0.00				
0.63= 30s	0.025	15.00	0.76		16.00	0.81				
1.27 = 1.0m	0.050	32.00	1.63		36.00	1.83				
1.9= 1.50m	0.075	46.00	2.34		51.00	2.60				
2.54= 2m	0.100	55.50	2.83	4.02%	63.00	3.21	4.56%			
3.17= 2.5m	0.125	65.00	3.31		74.00	3.77				
3.81= 3m	0.150	72.00	3.67		81.00	4.13				
5.08= 4m	0.200	82.50	4.20	3.98%	93.00	4.74	4.49%			
7.62= 6m	0.300	101.00	5.14		115.00	5.86				
10.16= 8m	0.400	112.00	5.70		126.00	6.42				
		Promedio del valor de CBR			Promedio del valor de CBR					
				4.00%			4.53%			



3.00 RESÚMEN DE LOS RESULTADOS

Molde	Condición de Muestra	Humedad (%W)	Densidad Húmeda (gr/cm ³)	Densidad Seca (gr/cm ³)	Valor de CBR (0.1")	Valor de CBR (0.2")	CBR PROMEDIO (%)
I	Inalterada	40.08%	1.72	1.228	4.02%	3.98%	4.02%
II	Inalterada	43.99%	1.83	1.270	4.56%	4.49%	4.56%
RESULTADOS:		42.03%	1.77	1.25	4.29%	4.24%	4.29%



ENSAYO DE CBR SOBRE MUESTRA INALTERADA

NORMA: ASTM D 1883 - MTCE132

Proyecto : Calibración de la Ecuación de Correlación entre el P.D.C y CBR bajo incidencia de la humedad, en Suelos a Nivel de la Subrasante caso de estudio vía Juliaca – Caracoto.
Ubicación : Juliaca - Puno - Perú
Fecha : 07/11/2018
Operador : J.Q.P.N
Calicata : C-06 **Progresiva:** 1+ 375.00

Cota Superficial : 3,828.00msnm
Coordenada (Este) : 380765.00
Coordenada (Norte) : 8281441.00
Profundidad Total : 1.50m

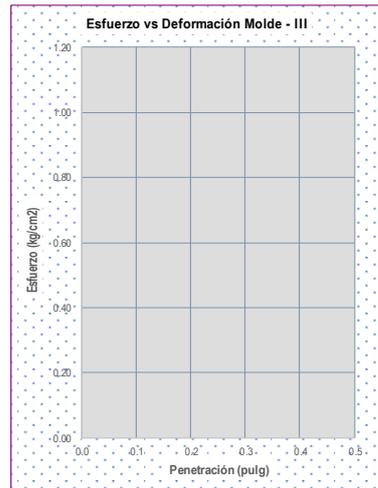
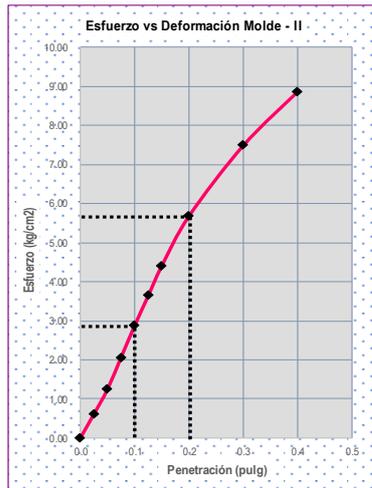
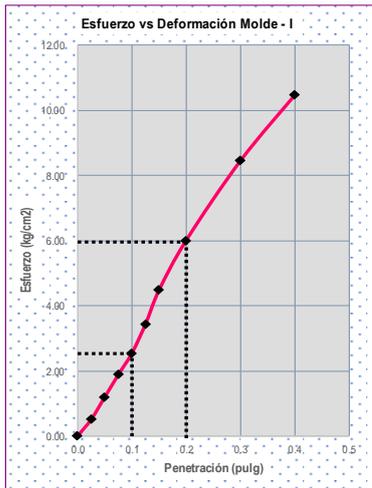
1.00 CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA Y MOLDE

MOLDE	I			II			III		
Altura Molde (cm)	11.60			11.70					
Diámetro Molde (cm)	15.10			15.10					
Área Molde (cm ²)	179.08			179.08					
Condición de la Muestra	Inalterada			Inalterada			Inalterada		
P.Húm. + Molde (gr)	12,365.00			12,302.00					
Peso Molde (gr)	8,439.00			8,348.00					
Peso Húmedo (gr)	3,926.00			3,954.00					
Vol. Molde (cc)	2,077.31			2,095.22					
Densidad Húmeda. (gr/cm ³)	1.89			1.89					
Número de Ensayo	1-A	1-B	1-C	2-A	2-B	2-C	3-A	3-B	3-C
P.Húm. + Tara (gr)	183.37	159.22	170.99	200.45	171.62	154.67			
Peso Seco + Tara (gr)	142.17	121.87	132.17	152.83	129.43	116.06			
Peso Agua (gr)	41.2	37.35	38.82	47.62	42.19	38.61			
Peso Tara (gr)	15.05	15.33	14.56	15.12	15.63	14.15			
P. muestra Seca (gr)	127.12	106.54	117.61	137.71	113.8	101.91			
Cont. De Humedad %	32.41%	35.06%	33.01%	34.58%	37.07%	37.89%			
Cont. Hume. Prom.	33.49%			36.51%					
Densidad Seca. (gr/cm³)	1.416			1.382					

2.00 ENSAYO CARGA- PENETRACIÓN

Area del pison: 19.24

PENETRACIÓN		MOLDE- I			MOLDE- II			MOLDE- III		
(mm)	(Pulg)	CARGA	ESFUERZO	% CBR	CARGA	ESFUERZO	% CBR	CARGA	ESFUERZO	% CBR
0.000	0.000	0.00	0.00		0.00	0.00				
0.63= 30s	0.025	10.00	0.51		12.00	0.61				
1.27= 1.0m	0.050	23.50	1.20		24.50	1.25				
1.9= 1.50m	0.075	37.00	1.88		40.50	2.06				
2.54= 2m	0.100	50.00	2.55	3.62%	56.50	2.88	4.09%			
3.17= 2.5m	0.125	67.50	3.44		71.50	3.64				
3.81= 3m	0.150	88.00	4.48		86.50	4.41				
5.08= 4m	0.200	118.00	6.01	5.70%	111.50	5.68	5.38%			
7.62= 6m	0.300	166.00	8.45		147.00	7.49				
10.16= 8m	0.400	205.50	10.47		174.00	8.86				
		Promedio del valor de CBR			Promedio del valor de CBR			Promedio del valor de CBR		
				4.66%			4.74%			



3.00 RESUMEN DE LOS RESULTADOS

Molde	Condición de Muestra	Humedad (%W)	Densidad Húmeda (gr/cm ³)	Densidad Seca (gr/cm ³)	Valor de CBR (0.1")	Valor de CBR (0.2")	CBR PROMEDIO (%)
I	Inalterada	33.49%	1.89	1.416	3.62%	5.70%	5.70%
II	Inalterada	36.51%	1.89	1.382	4.09%	5.38%	5.38%
RESULTADOS:		35.00%	1.89	1.40	3.86%	5.54%	5.54%



ENSAYO DE CBR SOBRE MUESTRA INALTERADA

NORMA: ASTM D 1883 - MTCE132

Proyecto : Calibración de la Ecuación de Correlación entre el P.D.C y CBR bajo incidencia de la humedad, en Suelos a Nivel de la Subrasante caso de estudio vía Juliaca – Caracoto.

Ubicación : Juliaca - Puno - Perú

Fecha : 07/11/2018

Operador : J.Q.P.N

Calicata : C-07

Progresiva:

1+ 625.00

Cota Superficial : 3,829.00msnm

Coordenada (Este) : 380871.00

Coordenada (Norte) : 8281207.00

Profundidad Total : 1.50m

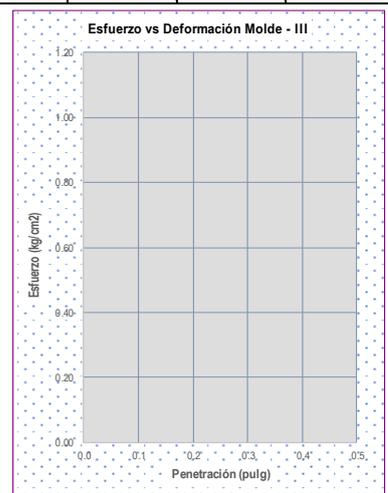
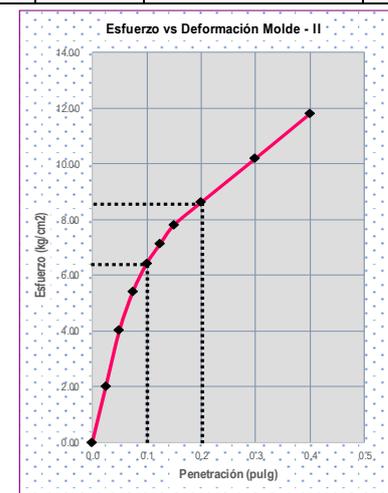
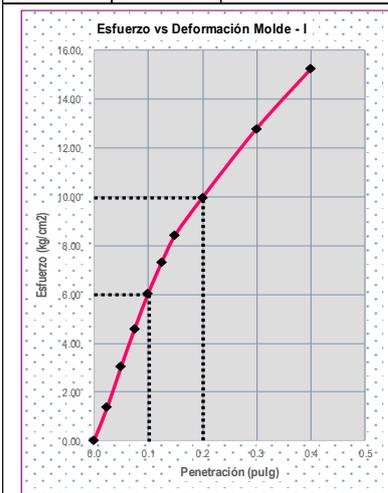
1.00 CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA Y MOLDE

MOLDE	I			II			III		
Altura Molde (cm)	11.00			11.10					
Diámetro Molde (cm)	15.10			15.10					
Área Molde (cm ²)	179.08			179.08					
Condición de la Muestra	Inalterada			Inalterada			Inalterada		
P.Húm. + Molde (gr)	11,656.00			12,912.00					
Peso Molde (gr)	7,615.00			8,751.00					
Peso Húmedo (gr)	4,041.00			4,161.00					
Vol. Molde (cc)	1,969.86			1,987.77					
Densidad Húmeda. (gr/cm ³)	2.05			2.09					
Número de Ensayo	1-A	1-B	1-C	2-A	2-B	2-C	3-A	3-B	3-C
P.Húm. + Tara (gr)	169.14	158.67	168.62	160.25	151.93	150.07			
Peso Seco + Tara (gr)	138.12	130.16	137.02	132.26	125.12	123.72			
Peso Agua (gr)	31.02	28.51	31.6	27.99	26.81	26.35			
Peso Tara (gr)	13.35	14.52	13.89	16.20	14.50	15.41			
P. muestra Seca (gr)	124.77	115.64	123.13	116.06	110.62	108.31			
Cont. De Humedad %	24.86%	24.65%	25.66%	24.12%	24.24%	24.33%			
Cont. Hume. Prom.	25.06%			24.23%					
Densidad Seca. (gr/cm ³)	1.640			1.685					

2.00 ENSAYO CARGA- PENETRACIÓN

Area del pison: 19.24

PENETRACIÓN		MOLDE- I			MOLDE- II			MOLDE- III			
(mm)	(Pulg)	CARGA	ESFUERZO	% CBR	CARGA	ESFUERZO	% CBR	CARGA	ESFUERZO	% CBR	
0.000	0.000	0.00	0.00		0.00	0.00					
0.63= 30s	0.025	27.50	1.40		39.50	2.01					
1.27 = 1.0m	0.050	59.50	3.03		79.00	4.02					
1.9= 1.50m	0.075	90.00	4.58		106.50	5.42					
2.54= 2m	0.100	118.50	6.04	8.58%	126.00	6.42	9.13%				
3.17= 2.5m	0.125	143.50	7.31		140.00	7.13					
3.81= 3m	0.150	165.50	8.43		153.00	7.79					
5.08= 4m	0.200	195.50	9.96	9.44%	169.00	8.61	8.16%				
7.62= 6m	0.300	251.00	12.78		200.00	10.19					
10.16= 8m	0.400	299.00	15.23		231.50	11.79					
		Promedio del valor de CBR			9.01%	Promedio del valor de CBR			8.64%		



3.00 RESÚMEN DE LOS RESULTADOS

Molde	Condición de Muestra	Humedad (%W)	Densidad Húmeda (gr/cm ³)	Densidad Seca (gr/cm ³)	Valor de CBR (0.1")	Valor de CBR (0.2")	CBR PROMEDIO (%)
I	Inalterada	25.06%	2.05	1.640	8.58%	9.44%	9.44%
II	Inalterada	24.23%	2.09	1.685	9.13%	8.16%	9.13%
RESULTADOS:		24.64%	2.07	1.66	8.86%	8.80%	8.86%



ENSAYO DE CBR SOBRE MUESTRA INALTERADA

NORMA: ASTM D 1883 - MTCE 132

Proyecto : Calibración de la Ecuación de Correlación entre el P.D.C y CBR bajo incidencia de la humedad, en Suelos a Nivel de la Subrasante caso de estudio vía Juliaca – Caracoto.
Ubicación : Juliaca - Puno - Perú
Fecha : 11/12/2018
Operador : J.O.P.N
Calicata : C-09 **Progresiva:** 2+ 125.00
Cota Superficial : 3,826.00msnm
Coordenada (Este) : 381062.00
Coordenada (Norte) : 8280731.00
Profundidad Total : 1.50m

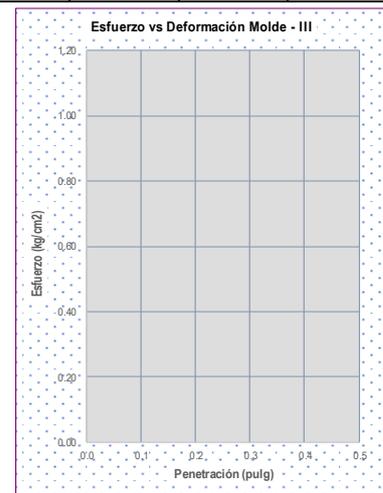
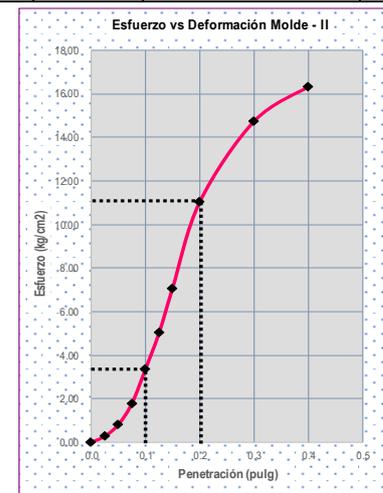
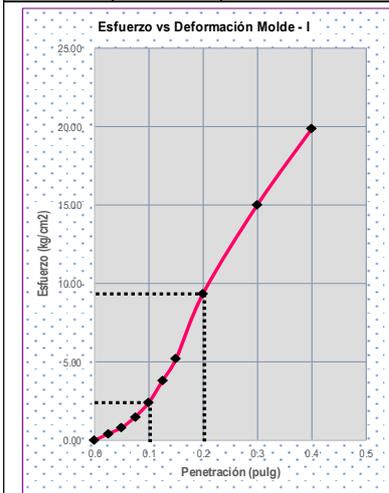
1.00 CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA Y MOLDE

MOLDE	I			II			III		
Altura Molde (cm)	11.70			11.60					
Diámetro Molde (cm)	15.10			15.10					
Área Molde (cm ²)	179.08			179.08					
Condición de la Muestra	Inalterada			Inalterada			Inalterada		
P.Húm. + Molde (gr)	11,302.00			10,898.00					
Peso Molde (gr)	7,778.00			7,336.00					
Peso Húmedo (gr)	3,524.00			3,562.00					
Vol. Molde (cc)	2,095.22			2,077.31					
Densidad Húmeda. (gr/cm ³)	1.68			1.71					
Número de Ensayo	1-A	1-B	1-C	2-A	2-B	2-C	3-A	3-B	3-C
P.Húm. + Tara (gr)	136.55	145.8	173.2	145.82	168.81	166.28			
Peso Seco + Tara (gr)	125.9	134.21	154.33	132.14	150.42	148.07			
Peso Agua (gr)	10.65	11.59	18.87	13.68	18.39	18.21			
Peso Tara (gr)	14.61	16.00	15.13	15.11	16.52	15.06			
P. muestra Seca (gr)	111.29	118.21	139.2	117.03	133.9	133.01			
Cont. De Humedad %	9.57%	9.80%	13.56%	11.69%	13.73%	13.69%			
Cont. Húme. Prom.	10.98%			13.04%					
Densidad Seca. (gr/cm³)	1.516			1.517					

2.00 ENSAYO CARGA - PENETRACIÓN

Area del pison: 19.24

PENETRACIÓN		MOLDE - I			MOLDE - II			MOLDE - III			
(mm)	(Pulg)	CARGA	ESFUERZO	% CBR	CARGA	ESFUERZO	% CBR	CARGA	ESFUERZO	% CBR	
0.000	0.000	0.00	0.00		0.00	0.00					
0.63= 30s	0.025	8.00	0.41		5.50	0.28					
1.27 = 1.0m	0.050	16.00	0.81		16.00	0.81					
1.9= 1.50m	0.075	29.50	1.50		35.00	1.78					
2.54= 2m	0.100	47.50	2.42	3.44%	66.00	3.36	4.78%				
3.17= 2.5m	0.125	74.50	3.79		98.50	5.02					
3.81= 3m	0.150	102.00	5.19		139.00	7.08					
5.08= 4m	0.200	184.00	9.37	8.89%	216.50	11.03	10.46%				
7.62= 6m	0.300	295.00	15.02		289.00	14.72					
10.16= 8m	0.400	390.00	19.86		320.00	16.30					
		Promedio del valor de CBR			6.16%	Promedio del valor de CBR			7.62%		



3.00 RESUMEN DE LOS RESULTADOS

Molde	Condición de Muestra	Humedad (%w)	Densidad Húmeda (gr/cm ³)	Densidad Seca (gr/cm ³)	Valor de CBR (0.1")	Valor de CBR (0.2")	CBR PROMEDIO (%)
I	Inalterada	10.98%	1.68	1.516	3.44%	8.89%	8.89%
II	Inalterada	13.04%	1.71	1.517	4.78%	10.46%	10.46%
RESULTADOS		12.01%	1.70	1.52	4.11%	9.67%	9.67%



ENSAYO DE CBR SOBRE MUESTRA INALTERADA

NORMA: ASTM D 1883 - MTCE132

Proyecto : Calibración de la Ecuación de Correlación entre el P.D.C y CBR bajo incidencia de la humedad, en Suelos a Nivel de la Subrasante caso de estudio vía Juliaca – Caracoto.
Ubicación : Juliaca - Puno - Perú
Fecha : 07/11/2018
Operador : J.Q.P.N
Calicata : C-11 **Progresiva:** 2+ 625.00

Cota Superficial : 3,826.00msnm
Coordenada (Este) : 381262.00
Coordenada (Norte) : 8280257.00
Profundidad Total : 1.50m

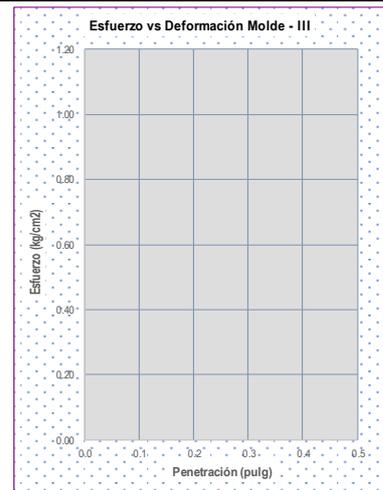
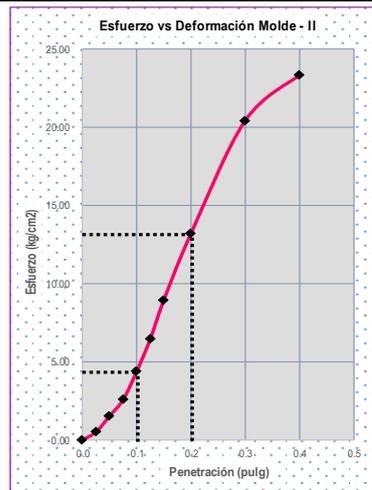
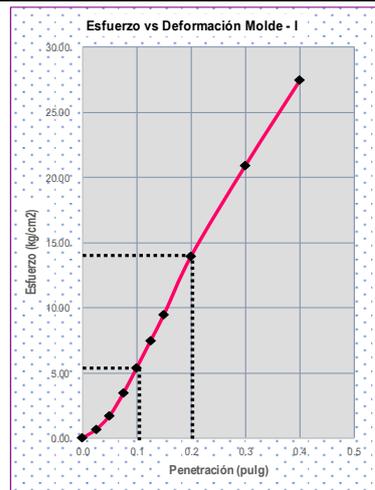
1.00 CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA Y MOLDE

MOLDE	I			II			III		
Altura Molde (cm)	11.60			11.60					
Diámetro Molde (cm)	15.30			15.10					
Área Molde (cm ²)	183.85			179.08					
Condición de la Muestra	Inalterada			Inalterada			Inalterada		
P.Húm. + Molde (gr)	11,330.00			11,024.00					
Peso Molde (gr)	7,647.00			7,365.00					
Peso Húmedo (gr)	3,683.00			3,659.00					
Vol. Molde (cc)	2,132.70			2,077.31					
Densidad Húmeda. (gr/cm ³)	1.73			1.76					
Número de Ensayo	1-A	1-B	1-C	2-A	2-B	2-C	3-A	3-B	3-C
P.Húm. + Tara (gr)	137.84	123.66	119.05	149	139.28	127.71			
Peso Seco + Tara (gr)	122.42	113.53	108.8	134.69	127.86	112.4			
Peso Agua (gr)	15.42	10.13	10.25	14.31	11.42	15.31			
Peso Tara (gr)	14.47	15.03	13.85	16.42	16.10	14.94			
P. muestra Seca (gr)	107.95	98.5	94.95	118.27	111.76	97.46			
Cont. De Humedad %	14.28%	10.28%	10.80%	12.10%	10.22%	15.71%			
Cont. Hume. Prom.	11.79%			12.68%					
Densidad Seca. (gr/cm³)	1.545			1.563					

2.00 ENSAYO CARGA- PENETRACIÓN

Area del pison: 19.24

PENETRACIÓN		MOLDE- I			MOLDE- II			MOLDE- III		
(mm)	(Pulg)	CARGA	ESFUERZO	% CBR	CARGA	ESFUERZO	% CBR	CARGA	ESFUERZO	% CBR
0.000	0.000	0.00	0.00		0.00	0.00				
0.63= 30s	0.025	13.00	0.66		10.00	0.51				
1.27= 1.0m	0.050	34.00	1.73		30.00	1.53				
1.9= 1.50m	0.075	67.50	3.44		50.50	2.57				
2.54= 2m	0.100	106.50	5.42	7.71%	86.00	4.38	6.23%			
3.17= 2.5m	0.125	146.50	7.46		126.50	6.44				
3.81= 3m	0.150	186.50	9.50		175.50	8.94				
5.08= 4m	0.200	274.50	13.98	13.26%	259.00	13.19	12.51%			
7.62= 6m	0.300	411.00	20.93		401.00	20.42				
10.16= 8m	0.400	539.00	27.45		458.00	23.33				
		Promedio del valor de CBR			Promedio del valor de CBR					
				10.49%			9.37%			



3.00 RESUMEN DE LOS RESULTADOS

Molde	Condición de Muestra	Humedad (%W)	Densidad Húmeda (gr/cm ³)	Densidad Seca (gr/cm ³)	Valor de CBR (0.1")	Valor de CBR (0.2")	CBR PROMEDIO (%)
I	Inalterada	11.79%	1.73	1.545	7.71%	13.26%	13.26%
II	Inalterada	12.68%	1.76	1.563	6.23%	12.51%	12.51%
RESULTADOS:		12.23%	1.74	1.55	6.97%	12.88%	12.88%



1.00 DENSIDAD NATURAL DEL SUELO EN SUBRASANTE

Proyecto : Calibración de la Ecuación de Correlación entre el P.D.C y C.B.R bajo incidencia de la humedad, en Suelos a Nivel de la Subrasante caso de estudio vía Juliaca – Caracoto.
Ubicación : Juliaca - Puno - Perú
Fecha : 07/11/2018
Operador : J.O.P.N
Calicata : Detallado

Cota Superficial :
Coordenada (Este) :
Coordenada (Norte) :
Profundidad Total :

$$\Rightarrow A = \frac{\pi D^2}{4} \quad \Rightarrow V = A * h \quad \Rightarrow \gamma = \frac{M}{V} \quad \Rightarrow \%W = \frac{\text{Peso del agua}}{\text{Peso suelo seco}} \times 100$$

CALICATA	C-13			C-14			C-15			C-16			RESUMEN DE RESULTADOS		
	M-1	M-2	M-3	Calicata	Densidad (gr/cm3)	Humedad %W									
h1	9.90	9.90	9.90	9.90	10.00	9.80	9.90	10.00	9.90	9.80	9.80	9.80			
h2	9.85	9.90	9.80	9.80	10.00	9.90	9.85	10.00	9.90	9.80	9.90	9.85			
h3	9.80	9.90	9.90	9.90	10.00	9.90	9.85	10.00	10.00	9.80	9.90	9.80	C-7	2.050	13.55%
D1	5.65	5.65	5.60	5.70	5.80	5.60	5.60	5.70	5.50	5.60	5.70	5.50	C-8	1.650	15.69%
D2	5.70	5.70	5.60	5.60	5.60	5.60	5.70	5.60	5.80	5.60	5.65	5.50	C-9	1.639	9.35%
D3	5.65	5.50	5.60	5.70	5.60	5.60	5.70	5.60	5.70	5.60	5.70	5.60	C-10	1.636	9.08%
Area cm2	25.22	24.78	24.63	25.22	25.22	24.63	25.22	24.92	25.22	24.63	25.37	24.05	C-12	1.577	7.11%
Volumen cm3	248.42	245.29	243.02	248.84	252.20	243.02	248.84	249.24	250.52	241.37	250.30	236.06	C-13	1.869	13.69%
Peso del molde + Muestra H	662.70	664.20	661.90	617.20	626.30	664.40	648.20	634.10	638.10	668.70	663.70	667.00	C-14	1.636	9.08%
													C-15	1.704	11.22%
Peso del Molde	195.80	211.00	210.10	213.90	215.60	261.50	213.90	216.10	215.00	260.00	213.80	261.50	C-16	1.736	22.78%
Densidad Parcial	1.880	1.848	1.859	1.621	1.628	1.658	1.745	1.677	1.689	1.693	1.797	1.718			
Densidad Promedio	1.87gr/cm3			1.64gr/cm3			1.70gr/cm3			1.74gr/cm3					

CONTENIDO DE HUMEDAD

Nº Cápsula	T-43	T-25	T-32	T-27	T-35	T-29	T-31	T-40	T-42	T-36	T-28	T-39
P. Tara	15.15	14.95	15.35	15.48	15.01	15.45	14.37	15.25	14.28	15.01	14.29	14.45
P.Tara + MH.	125.55	127.71	141.35	118.77	123.94	119.24	131.89	127.94	145.43	142.73	120.82	143.1
P.Tara + MS.	111.71	114.18	126.75	110.34	114.98	110.32	117.07	118.8	133.07	120.2	101.35	117.73
P. Suelo Seco.	96.56	99.23	111.4	94.86	99.97	94.87	102.7	103.55	118.79	105.19	87.06	103.28
Peso agua	13.84	13.53	14.6	8.43	8.96	8.92	14.82	9.14	12.36	22.53	19.47	25.37
W%	14.33%	13.63%	13.11%	8.89%	8.96%	9.40%	14.43%	8.83%	10.40%	21.42%	22.36%	24.56%
W% Promedio	13.69%			9.08%			11.22%			22.78%		



DENSIDAD DE LABORATORIO

Proyecto : Calibración de la Ecuación de Correlación entre el P.D.C y C.B.R bajo incidencia de la humedad, en Suelos a Nivel de la Subrasante caso de estudio vía Juliaca – Caracoto.
Ubicación : Juliaca - Puno - Perú
Fecha : 07/11/2018
Operador : J.O.P.N
Calicata : Detallado

$$\Rightarrow A = \frac{\pi D^2}{4} \quad \Rightarrow V = A * h \quad \Rightarrow \gamma = \frac{M}{V} \quad \Rightarrow \%W = \frac{\text{Peso del agua}}{\text{Peso suelo seco}} \times 100$$

Cota Superficial :
Coordenada (Este) :
Coordenada (Norte) :
Profundidad Total :

CALICATA	C-7			C-8			C-9			C-10			C-12		
Datos	M-1	M-2	M-3												
Altura	11.40	11.40	11.40	11.30	11.30	11.30	11.40	11.40	11.40	11.30	11.30	11.30	11.40	11.30	11.30
Diámetro	15.20	15.20	15.20	15.20	15.10	15.20	15.20	15.20	15.20	15.20	15.10	15.20	15.20	15.10	15.20
Área	181.46	181.46	181.46	181.46	179.08	181.46	181.46	181.46	181.46	181.46	179.08	181.46	181.46	179.08	181.46
Volumen	2068.63	2068.63	2068.63	2050.48	2023.59	2050.48	2068.63	2068.63	2068.63	2050.48	2023.59	2050.48	2068.63	2023.59	2050.48
Peso del molde + Muestra	11349.00	11940.00	12644.00	10625.00	11533.00	12277.00	10894.00	11204.00	12336.00	10430.00	11851.00	11417.00	10503.00	11020.00	11747.00
Peso del molde	7323.00	7770.00	8336.00	7321.00	7767.00	8331.00	7521.00	7734.00	8736.00	7321.00	8331.00	7767.00	7323.00	7769.00	8333.00
Densidad Natural (gr/cm ³)	2.050			1.65			1.64			1.64			1.58		
Densidad laboratorio	1.95	2.02	2.08	1.61	1.86	1.92	1.63	1.68	1.74	1.52	1.74	1.78	1.54	1.61	1.66

CALICATA	C-13			C-14			C-15			C-16		
Datos	M-1	M-2	M-3									
Altura	11.40	11.30	11.30	11.40	11.30	11.30	11.40	11.30	11.30	11.40	11.30	11.30
Diámetro	15.20	15.20	15.20	15.20	15.20	15.20	15.20	15.20	15.20	15.20	15.20	15.20
Área	181.46	181.46	181.46	181.46	181.46	181.46	181.46	181.46	181.46	181.46	181.46	181.46
Volumen	2068.63	2050.48	2050.48	2068.63	2050.48	2050.48	2068.63	2050.48	2050.48	2068.63	2050.48	2050.48
Peso del molde + Muestra	11015.00	11648.00	12319.00	10637.00	11269.00	12319.00	10793.00	11478.00	12250.00	10851.00	11596.00	12246.00
Peso del molde	7323.00	7769.00	8332.00	7323.00	7769.00	8332.00	7321.00	7769.00	8332.00	7321.00	7769.00	8332.00
Densidad Natural (gr/cm ³)	1.87			1.64			1.70			1.74		
Densidad laboratorio	1.78	1.89	1.94	1.60	1.71	1.94	1.68	1.81	1.91	1.71	1.87	1.91



PORCENTAJE DE HUMEDAD PARA ENSAYO DE PROCTOR

Proyecto : Calibración de la Ecuación de Correlación entre el P.D.C y C.B.R bajo incidencia de la humedad, en Suelos a Nivel de la Subrasante caso de estudio vía Juliaca – Caracoto.
Ubicación : Juliaca - Puno - Perú
Fecha : 07/11/2018
Operador : J.O.P.N
Calicata : Detallado

$$\Rightarrow A = \frac{\pi D^2}{4} \quad \Rightarrow V = A * h \quad \Rightarrow \gamma = \frac{M}{V} \quad \Rightarrow \%W = \frac{\text{Peso del agua}}{\text{Peso suelo seco}} \times 100$$

Cota Superficial :
Coordenada (Este) :
Coordenada (Norte) :
Profundidad Total :

CONTENIDO DE HUMEDAD PARA CBR

CALICATA	C-7		C-8		C-9		C-10		C-12		C-13		C-14		C-15		C-16	
TARA	T-43	T-35	T-32	T-27	T-44	T-37	T-48	T-46	T-42	T-41	T-45	T-34	T-25	T-28	T-29	T-30	T-36	T-39
P. Tara	15.50	13.95	15.36	13.24	15.00	15.03	16.42	14.94	14.28	14.47	15.02	13.40	14.95	14.28	15.91	15.49	15.01	14.44
P. Tara + M.Húmeda	197.42	214.36	190.97	187.22	185.53	166.77	170.83	184.59	180.93	217.42	179.66	183.19	210.84	215.70	192.50	169.98	170.13	176.13
P. Tara + M.Seca	195.89	212.61	189.63	185.70	184.36	165.79	170.07	183.69	179.92	216.03	178.62	181.79	209.84	214.64	189.71	167.63	168.95	174.81
Peso agua	1.53	1.75	1.34	1.52	1.17	0.98	0.76	0.9	1.01	1.39	1.04	1.4	1	1.06	2.79	2.35	1.18	1.32
Peso suelo seco (gr)	180.39	198.66	174.27	172.46	169.36	150.76	153.65	168.75	165.64	201.56	163.6	168.39	194.89	200.36	173.8	152.14	153.94	160.37
%W parcial	0.85%	0.88%	0.77%	0.88%	0.69%	0.65%	0.49%	0.53%	0.61%	0.69%	0.64%	0.83%	0.51%	0.53%	1.61%	1.54%	0.77%	0.82%
%W parcial promedio	0.86%		0.83%		0.67%		0.51%		0.65%		0.73%		0.52%		1.57%		0.79%	

PROPORCIÓN DE SUELO Y AGUA PARA EL ENSAYO DE PROCTOR

Peso del suelo (gr)	5,000.00	5,000.00	4,500.00	4,500.00	5,000.00	5,000.00	5,000.00	5,000.00	5,000.00	5,000.00	5,000.00	5,000.00	5,000.00	5,000.00	5,000.00	5,000.00	5,000.00	5,000.00
Densidad del suelo (gr/cm3)	2.05	1.63	1.63	1.64	1.46	1.66	1.64	1.55	1.64	1.55	1.64	1.55	1.64	1.55	1.64	1.55	1.64	1.55
Volumen promedio del molde	3,409.50	3,410.50	3,411.50	3,412.50	3,413.50	3,414.50	3,415.50	3,416.50	3,417.50	3,418.50	3,419.50	3,420.50	3,421.50	3,422.50	3,423.50	3,424.50	3,425.50	3,426.50
Peso del agua natural %	13.13%	15.69%	9.35%	9.08%	7.11%	13.69%	9.08%	11.22%	22.78%									
Peso del agua a dosificar (gr)	12.27%	14.86%	8.68%	8.57%	6.46%	12.96%	8.56%	9.65%	21.99%									
	613	743	391	385	323	648	428	482	1,099									



ENSAYO DE CBR SOBRE MUESTRA REMOLDEADA

NORMA: ASTM D1883 - MTCE132

Proyecto : Calibración de la Ecuación de Correlación entre el P.D.C y CBR bajo incidencia de la humedad, en Suelos a Nivel de la Subrasante caso de estudio vía Juliaca – Caracoto.
Ubicación : Juliaca - Puno - Perú
Fecha : 07/11/2018
Operador : J.O.P.N
Calicata : C-07-2 **Progresiva:** 1+ 625.00
Cota Superficial : 3,829.00msnm
Coordenada (Este) : 380871.00
Coordenada (Norte) : 8281207.00
Profundidad Total : 1.50m

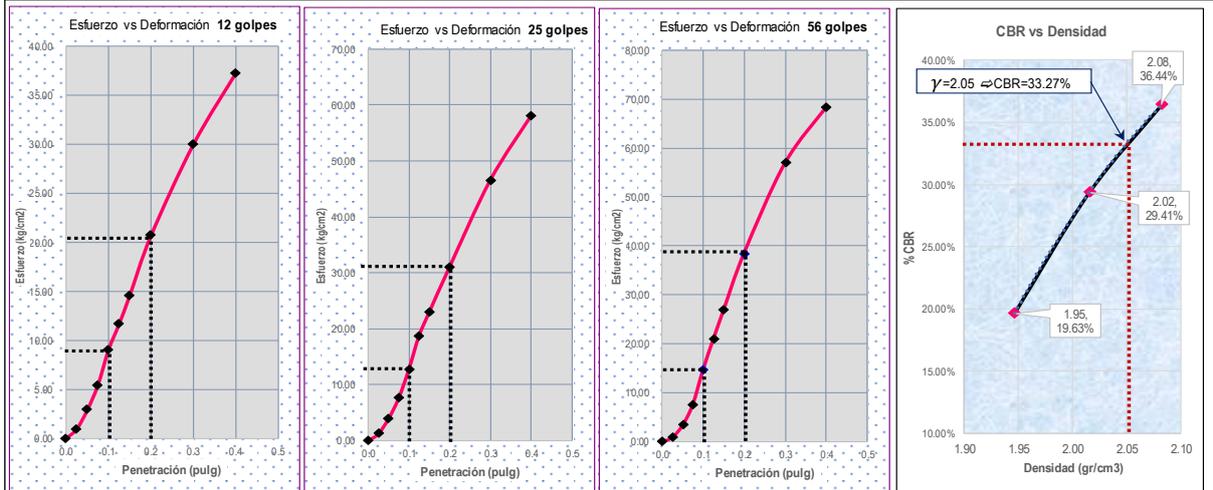
1.00 CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA Y MOLDE

MOLDE	12 golpes			25 golpes			56 golpes		
Altura Molde (cm)	11.40			11.40			11.40		
Diámetro Molde (cm)	15.20			15.20			15.20		
Área Molde (cm ²)	181.46			181.46			181.46		
Condición de la Muestra	Remoldeada			Remoldeada			Remoldeada		
P.Húm. + Molde (gr)	11,349.00			11,940.00			12,644.00		
Peso Molde (gr)	7,323.00			7,770.00			8,336.00		
Peso Húmedo (gr)	4,026.00			4,170.00			4,308.00		
Vol. Molde (cc)	2,068.63			2,068.63			2,068.63		
Densidad Húmeda. (gr/cm ³)	1.95			2.02			2.08		
Número de Ensayo	1-A	1-B	1-C	2-A	2-B	2-C	3-A	3-B	3-C
P.Húm. + Tara (gr)	202.41	122.05	127.57	179.76	112.6	123.6	198.09	134.86	138.25
Peso Seco + Tara (gr)	180.44	110.24	114.77	161.03	102.06	112.37	177.53	121.08	124.07
Peso Agua (gr)	21.97	11.81	12.8	18.73	10.54	11.23	20.56	13.78	14.18
Peso Tara (gr)	15.00	15.16	15.36	14.47	15.04	15.02	14.29	13.41	16.43
P. muestra Seca (gr)	165.44	95.08	99.41	146.56	87.02	97.35	163.24	107.67	107.64
Cont. De Humedad %	13.28%	12.42%	12.88%	12.78%	12.11%	11.54%	12.59%	12.80%	13.17%
Cont. Hume. Prom.	12.86%			12.14%			12.86%		
Densidad Seca. (gr/cm ³)	1.724			1.798			1.845		

2.00 ENSAYO CARGA - PENETRACIÓN

Area del pison: 19.24

PENETRACIÓN		12 golpes			25 golpes			56 golpes		
(mm)	(Pulg)	CARGA	ESFUERZO	% CBR	CARGA	ESFUERZO	% CBR	CARGA	ESFUERZO	% CBR
0.000	0.000	0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00	
0.63= 30s	0.025	19.00	0.97		23.50	1.20		16.50	0.84	
1.27 = 1.0m	0.050	57.00	2.90		76.50	3.90		65.00	3.31	
1.9 = 1.50m	0.075	107.00	5.45		148.50	7.56		147.50	7.51	
2.54= 2m	0.100	177.50	9.04	12.86%	249.50	12.71	18.07%	286.50	14.59	20.75%
3.17= 2.5m	0.125	229.50	11.69		367.00	18.69		409.00	20.83	
3.81= 3m	0.150	286.50	14.59		450.00	22.92		525.50	26.76	
5.08= 4m	0.200	406.50	20.70	19.63%	609.00	31.02	29.41%	754.50	38.43	36.44%
7.62= 6m	0.300	589.50	30.02		913.50	46.52		1116.50	56.86	
10.16= 8m	0.400	732.00	37.28		1139.00	58.01		1339.00	68.19	
		Promedio del valor de CBR			Promedio del valor de CBR			Promedio del valor de CBR		
		16.24%			23.74%			28.59%		



3.00 RESUMEN DE LOS RESULTADOS

Molde	Condición de Muestra	Humedad (%W)	Densidad Húmeda (gr/cm ³)	Densidad Seca (gr/cm ³)	Valor de CBR (0.1")	Valor de CBR (0.2")	CBR PROMEDIO (%)
I	Inalterada	12.86%	1.95	1.724	12.86%	19.63%	19.63%
II	Inalterada	12.14%	2.02	1.798	18.07%	29.41%	29.41%
III	Inalterada	12.86%	2.08	1.845	20.75%	36.44%	36.44%
RESULTADOS		12.62%	2.01	1.79	17.23%	28.49%	28.49%



ENSAYO DE CBR SOBRE MUESTRA REMOLDEADA

NORMA: ASTM D1883 - MTCE132

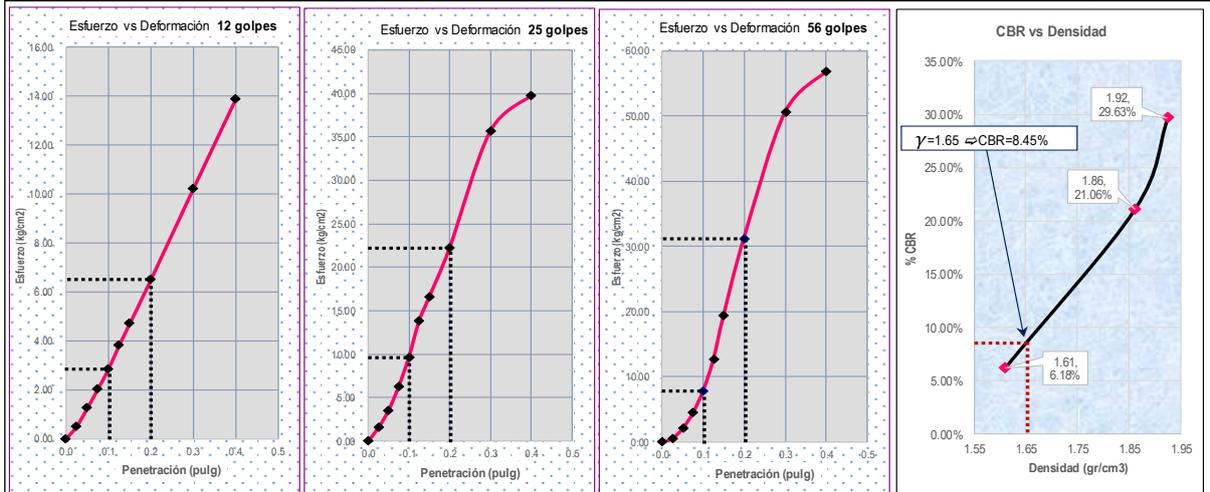
Proyecto : Calibración de la Ecuación de Correlación entre el P.D.C y CBR bajo incidencia de la humedad, en Suelos a Nivel de la Subrasante caso de estudio vía Juliaca – Caracoto.
Ubicación : Juliaca - Puno - Perú
Fecha : 07/11/2018
Operador : J.O.P.N
Calicata : C-08 **Progresiva:** 1+ 875.00
Cota Superficial : 3,830.00msnm
Coordenada (Este) : 380962.00
Coordenada (Norte) : 8280967.00
Profundidad Total : 1.50m

1.00 CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA Y MOLDE

MOLDE	12 golpes			25 golpes			56 golpes		
Altura Molde (cm)	11.30			11.30			11.30		
Diámetro Molde (cm)	15.20			15.10			15.20		
Área Molde (cm ²)	181.46			179.08			181.46		
Condición de la Muestra	Remoldeada			Remoldeada			Remoldeada		
P.Húm. + Molde (gr)	10,625.00			11,533.00			12,277.00		
Peso Molde (gr)	7,321.00			7,767.00			8,331.00		
Peso Húmedo (gr)	3,304.00			3,766.00			3,946.00		
Vol. Molde (cc)	2,050.48			2,023.59			2,050.48		
Densidad Húmeda. (gr/cm ³)	1.61			1.86			1.92		
Número de Ensayo	1-A	1-B	1-C	2-A	2-B	2-C	3-A	3-B	3-C
P.Húm. + Tara (gr)	91.51	106.39	/	82.8	86.25	/	99.28	88.41	/
Peso Seco + Tara (gr)	81.77	94.9	/	74.69	77.48	/	87.84	78.53	/
Peso Agua (gr)	9.74	11.49	/	8.11	8.77	/	11.44	9.88	/
Peso Tara (gr)	15.00	15.16	/	14.47	15.04	/	14.29	13.41	/
P. muestra Seca (gr)	66.77	79.74	/	60.22	62.44	/	73.55	65.12	/
Cont. De Humedad %	14.59%	14.41%	/	13.47%	14.05%	/	15.55%	15.17%	/
Cont. Hume. Prom.	14.50%			13.76%			15.36%		
Densidad Seca. (gr/cm ³)	1.407			1.636			1.668		

2.00 ENSAYO CARGA - PENETRACIÓN

PENETRACIÓN		12 golpes			25 golpes			56 golpes			Area del pison:
(mm)	(Pulg)	CARGA	ESFUERZO	% CBR	CARGA	ESFUERZO	% CBR	CARGA	ESFUERZO	% CBR	19.24
0.000	0.000	0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		
0.63= 30s	0.025	10.00	0.51		29.50	1.50		10.00	0.51		
1.27 = 1.0m	0.050	24.50	1.25		69.00	3.51		40.00	2.04		
1.9 = 1.50m	0.075	40.00	2.04		123.00	6.26		86.00	4.38		
2.54= 2m	0.100	56.00	2.85	4.06%	189.00	9.63	13.69%	153.00	7.79	11.08%	
3.17= 2.5m	0.125	75.00	3.82		270.50	13.78		246.00	12.53		
3.81= 3m	0.150	92.50	4.71		325.50	16.58		379.00	19.30		
5.08= 4m	0.200	128.00	6.52	6.18%	436.00	22.21	21.06%	613.50	31.25	29.63%	
7.62= 6m	0.300	201.00	10.24		700.00	35.65		991.50	50.50		
10.16= 8m	0.400	273.00	13.90		780.00	39.73		1113.00	56.68		
		Promedio del valor de CBR			Promedio del valor de CBR			Promedio del valor de CBR			
		5.12%			17.37%			20.36%			



3.00 RESUMEN DE LOS RESULTADOS

Molde	Condición de Muestra	Humedad (%w)	Densidad Húmeda (gr/cm ³)	Densidad Seca (gr/cm ³)	Valor de CBR (0.1")	Valor de CBR (0.2")	CBR PROMEDIO (%)
I	Inalterada	14.50%	1.61	1.407	4.06%	6.18%	6.18%
II	Inalterada	13.76%	1.86	1.636	13.69%	21.06%	21.06%
III	Inalterada	15.36%	1.92	1.668	11.08%	29.63%	29.63%
RESULTADOS:		14.54%	1.80	1.57	9.61%	18.95%	18.95%



ENSAYO DE CBR SOBRE MUESTRA REMOLDEADA

NORMA: ASTM D1883 - MTCE132

Proyecto : Calibración de la Ecuación de Correlación entre el P.D.C y CBR bajo incidencia de la humedad, en Suelos a Nivel de la Subrasante caso de estudio vía Juliaca – Caracoto.
Ubicación : Juliaca - Puno - Perú
Fecha : 07/11/2018
Operador : J.O.P.N
Calicata : C-09-2 **Progresiva:** 2+ 125.00

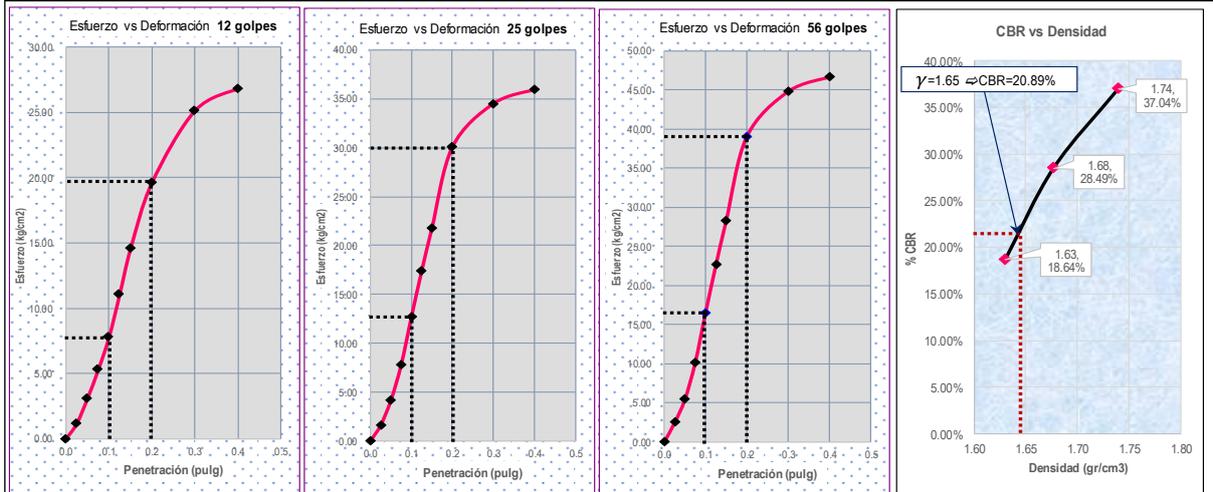
Cota Superficial : 3,826.00msnm
Coordenada (Este) : 381062.00
Coordenada (Norte) : 8280731.00
Profundidad Total : 1.50m

1.00 CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA Y MOLDE

MOLDE	12 golpes			25 golpes			56 golpes		
Altura Molde (cm)	11.40			11.40			11.40		
Diámetro Molde (cm)	15.20			15.20			15.20		
Área Molde (cm ²)	181.46			181.46			181.46		
Condición de la Muestra	Remoldeada			Remoldeada			Remoldeada		
P.Húm. + Molde (gr)	10,894.00			11,204.00			12,336.00		
Peso Molde (gr)	7,521.00			7,734.00			8,736.00		
Peso Húmedo (gr)	3,373.00			3,470.00			3,600.00		
Vol. Molde (cc)	2,068.63			2,068.63			2,068.63		
Densidad Húmeda. (gr/cm ³)	1.63			1.68			1.74		
Número de Ensayo	1-A	1-B	1-C	2-A	2-B	2-C	3-A	3-B	3-C
P.Húm. + Tara (gr)	75.37	78.05	/	80.25	80.15	/	78.55	93.95	/
Peso Seco + Tara (gr)	70.29	72.57	/	74.72	74.67	/	73.15	86.83	/
Peso Agua (gr)	5.08	5.48	/	5.53	5.48	/	5.4	7.12	/
Peso Tara (gr)	15.91	14.29	/	15.49	14.95	/	14.36	15.48	/
P. muestra Seca (gr)	54.38	58.28	/	59.23	59.72	/	58.79	71.35	/
Cont. De Humedad %	9.34%	9.40%	/	9.34%	9.18%	/	9.19%	9.98%	/
Cont. Hume. Prom.	9.37%			9.26%			9.58%		
Densidad Seca. (gr/cm ³)	1.491			1.535			1.588		

2.00 ENSAYO CARGA - PENETRACIÓN

PENETRACIÓN		12 golpes			25 golpes			56 golpes		
(mm)	(Pulg)	CARGA	ESFUERZO	% CBR	CARGA	ESFUERZO	% CBR	CARGA	ESFUERZO	% CBR
0.000	0.000	0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00	
0.63= 30s	0.025	23.00	1.17		32.00	1.63		48.00	2.44	
1.27 = 1.0m	0.050	61.00	3.11		82.00	4.18		106.60	5.43	
1.9 = 1.50m	0.075	104.00	5.30		153.00	7.79		198.90	10.13	
2.54= 2m	0.100	153.00	7.79	11.08%	249.00	12.68	18.04%	323.70	16.49	23.45%
3.17= 2.5m	0.125	218.00	11.10		341.00	17.37		443.30	22.58	
3.81= 3m	0.150	286.00	14.57		427.00	21.75		555.10	28.27	
5.08= 4m	0.200	386.00	19.66	18.64%	590.00	30.05	28.49%	767.00	39.06	37.04%
7.62= 6m	0.300	494.00	25.16		677.00	34.48		880.10	44.82	
10.16= 8m	0.400	527.00	26.84		705.00	35.91		916.50	46.68	
		Promedio del valor de CBR			Promedio del valor de CBR			Promedio del valor de CBR		
		14.86%			23.26%			30.24%		



3.00 RESUMEN DE LOS RESULTADOS

Molde	Condición de Muestra	Humedad (%w)	Densidad Húmeda (gr/cm ³)	Densidad Seca (gr/cm ³)	Valor de CBR (0.1")	Valor de CBR (0.2")	CBR PROMEDIO (%)
I	Inalterada	9.37%	1.63	1.491	11.08%	18.64%	18.64%
II	Inalterada	9.26%	1.68	1.535	18.04%	28.49%	28.49%
III	Inalterada	9.58%	1.74	1.588	23.45%	37.04%	37.04%
RESULTADOS:		9.40%	1.68	1.54	17.52%	28.06%	28.06%



ENSAYO DE CBR SOBRE MUESTRA REMOLDEADA

NORMA: ASTM D1883 - MTCE132

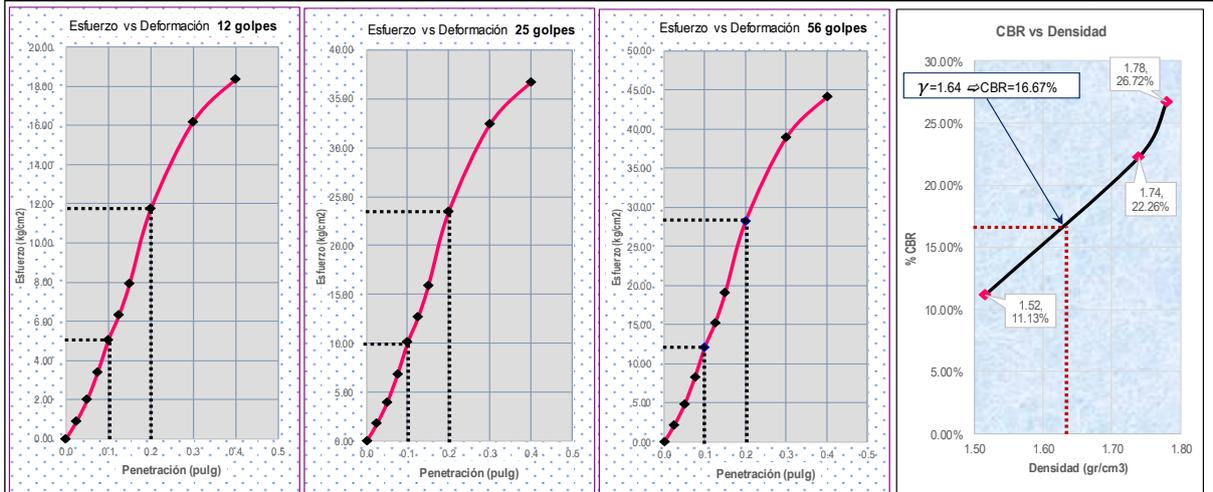
Proyecto : Calibración de la Ecuación de Correlación entre el P.D.C y CBR bajo incidencia de la humedad, en Suelos a Nivel de la Subrasante caso de estudio vía Juliaca – Caracoto.
Ubicación : Juliaca - Puno - Perú
Fecha : 07/11/2018
Operador : J.O.P.N
Calicata : C-10
Progresiva: 2+ 375.00
Cota Superficial : 3,827.00msnm
Coordenada (Este) : 381164.00
Coordenada (Norte) : 8280495.00
Profundidad Total : 1.50m

1.00 CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA Y MOLDE

MOLDE	12 golpes			25 golpes			56 golpes		
Altura Molde (cm)	11.30			11.30			11.30		
Diámetro Molde (cm)	15.20			15.10			15.20		
Área Molde (cm ²)	181.46			179.08			181.46		
Condición de la Muestra	Remoldeada			Remoldeada			Remoldeada		
P.Húm. + Molde (gr)	10,430.00			11,851.00			11,417.00		
Peso Molde (gr)	7,321.00			8,331.00			7,767.00		
Peso Húmedo (gr)	3,109.00			3,520.00			3,650.00		
Vol. Molde (cc)	2,050.48			2,023.59			2,050.48		
Densidad Húmeda. (gr/cm ³)	1.52			1.74			1.78		
Número de Ensayo	1-A	1-B	1-C	2-A	2-B	2-C	3-A	3-B	3-C
P.Húm. + Tara (gr)	74.48	71.36	/	101.1	91.61	/	90.4	96.78	/
Peso Seco + Tara (gr)	69.71	66.7	/	94.18	85.81	/	84.86	90.72	/
Peso Agua (gr)	4.77	4.66	/	6.92	5.8	/	5.54	6.06	/
Peso Tara (gr)	15.00	15.16	/	14.47	15.04	/	14.29	13.41	/
P. muestra Seca (gr)	54.71	51.54	/	79.71	70.77	/	70.57	77.31	/
Cont. De Humedad %	8.72%	9.04%	/	8.68%	8.20%	/	7.85%	7.84%	/
Cont. Hume. Prom.	8.88%			8.44%			7.84%		
Densidad Seca. (gr/cm ³)	1.393			1.604			1.651		

2.00 ENSAYO CARGA - PENETRACIÓN

PENETRACIÓN		12 golpes			25 golpes			56 golpes		
(mm)	(Pulg)	CARGA	ESFUERZO	% CBR	CARGA	ESFUERZO	% CBR	CARGA	ESFUERZO	% CBR
0.000	0.000	0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00	
0.63= 30s	0.025	17.50	0.89		35.00	1.78		42.00	2.14	
1.27 = 1.0m	0.050	39.00	1.99		78.00	3.97		93.60	4.77	
1.9 = 1.50m	0.075	67.00	3.41		134.00	6.82		160.80	8.19	
2.54= 2m	0.100	99.00	5.04	7.17%	198.00	10.08	14.34%	237.60	12.10	17.21%
3.17= 2.5m	0.125	124.00	6.32		248.00	12.63		297.60	15.16	
3.81= 3m	0.150	155.50	7.92		311.00	15.84		373.20	19.01	
5.08= 4m	0.200	230.50	11.74	11.13%	461.00	23.48	22.26%	553.20	28.17	26.72%
7.62= 6m	0.300	318.00	16.20		636.00	32.39		763.20	38.87	
10.16= 8m	0.400	360.50	18.36		721.00	36.72		865.20	44.06	
Promedio del valor de CBR		9.15%			18.30%			21.96%		



3.00 RESUMEN DE LOS RESULTADOS

Molde	Condición de Muestra	Humedad (%w)	Densidad Húmeda (gr/cm ³)	Densidad Seca (gr/cm ³)	Valor de CBR (0.1")	Valor de CBR (0.2")	CBR PROMEDIO (%)
I	Inalterada	8.88%	1.52	1.393	7.17%	11.13%	11.13%
II	Inalterada	8.44%	1.74	1.604	14.34%	22.26%	22.26%
III	Inalterada	7.84%	1.78	1.651	17.21%	26.72%	26.72%
RESULTADOS:		8.39%	1.68	1.55	12.91%	20.04%	20.04%



ENSAYO DE CBR SOBRE MUESTRA REMOLDEADA

NORMA: ASTM D 1883 - MTCE 132

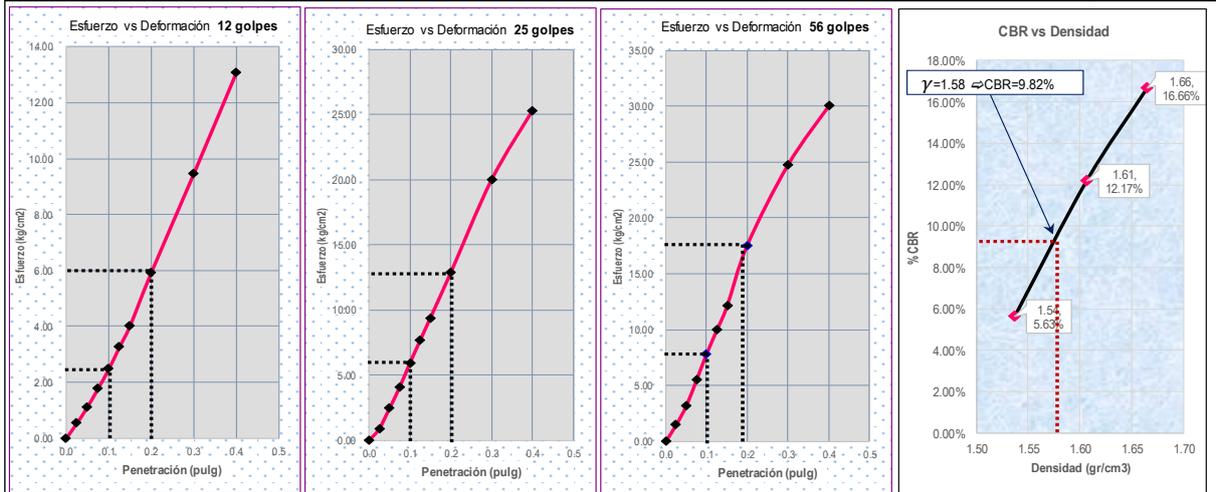
Proyecto : Calibración de la Ecuación de Correlación entre el P.D.C y CBR bajo incidencia de la humedad, en Suelos a Nivel de la Subrasante caso de estudio vía Juliaca – Caracoto.
Ubicación : Juliaca - Puno - Perú
Fecha : 07/11/2018
Operador : J.O.P.N
Calicata : C-12
Progresiva: 2+ 875.00
Cota Superficial : 3,828.00msnm
Coordenada (Este) : 381378.00
Coordenada (Norte) : 8280001.00
Profundidad Total : 1.50m

1.00 CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA Y MOLDE

MOLDE	12 golpes			25 golpes			56 golpes		
Altura Molde (cm)	11.40			11.30			11.30		
Diámetro Molde (cm)	15.20			15.10			15.20		
Área Molde (cm ²)	181.46			179.08			181.46		
Condición de la Muestra	Remoldeada			Remoldeada			Remoldeada		
P.Húm. + Molde (gr)	10,503.00			11,020.00			11,747.00		
Peso Molde (gr)	7,323.00			7,769.00			8,333.00		
Peso Húmedo (gr)	3,180.00			3,251.00			3,414.00		
Vol. Molde (cc)	2,068.63			2,023.59			2,050.48		
Densidad Húmeda. (gr/cm ³)	1.54			1.61			1.66		
Número de Ensayo	1-A	1-B	1-C	2-A	2-B	2-C	3-A	3-B	3-C
P.Húm. + Tara (gr)	125.98	165.64		139.38	143.11		125.27	174.65	
Peso Seco + Tara (gr)	119.95	156.94		132.52	135.74		118.88	165.34	
Peso Agua (gr)	6.03	8.7		6.86	7.37		6.39	9.31	
Peso Tara (gr)	23.23	22.58		14.47	15.04		14.29	13.41	
P. muestra Seca (gr)	96.72	134.36		118.05	120.7		104.59	151.93	
Cont. De Humedad %	6.23%	6.48%		5.81%	6.11%		6.11%	6.13%	
Cont. Hume. Prom.	6.35%			5.96%			6.12%		
Densidad Seca. (gr/cm ³)	1.445			1.516			1.569		

2.00 ENSAYO CARGA - PENETRACIÓN

PENETRACIÓN		12 golpes			25 golpes			56 golpes			Area del pison:
(mm)	(Pulg)	CARGA	ESFUERZO	% CBR	CARGA	ESFUERZO	% CBR	CARGA	ESFUERZO	% CBR	19.24
0.000	0.000	0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		
0.63= 30s	0.025	10.50	0.53		17.50	0.89		28.50	1.45		
1.27 = 1.0m	0.050	22.00	1.12		48.00	2.44		62.00	3.16		
1.9 = 1.50m	0.075	35.00	1.78		80.00	4.07		107.00	5.45		
2.54= 2m	0.100	48.50	2.47	3.51%	116.00	5.91	8.40%	153.50	7.82	11.12%	
3.17= 2.5m	0.125	64.00	3.26		150.00	7.64		195.00	9.93		
3.81= 3m	0.150	79.00	4.02		184.00	9.37		237.00	12.07		
5.08= 4m	0.200	116.50	5.93	5.63%	252.00	12.83	12.17%	345.00	17.57	16.66%	
7.62= 6m	0.300	186.00	9.47		392.00	19.96		486.00	24.75		
10.16= 8m	0.400	257.00	13.09		496.00	25.26		589.00	30.00		
Promedio del valor de CBR		4.57%			10.29%			13.89%			



3.00 RESÚMEN DE LOS RESULTADOS

Molde	Condición de Muestra	Humedad (%w)	Densidad Húmeda (gr/cm ³)	Densidad Seca (gr/cm ³)	Valor de CBR (0.1")	Valor de CBR (0.2")	CBR PROMEDIO (%)
I	Inalterada	6.35%	1.54	1.445	3.51%	5.63%	5.63%
II	Inalterada	5.96%	1.61	1.516	8.40%	12.17%	12.17%
III	Inalterada	6.12%	1.66	1.569	11.12%	16.66%	16.66%
RESULTADOS:		6.14%	1.60	1.51	7.66%	11.49%	11.49%



ENSAYO DE CBR SOBRE MUESTRA REMOLDEADA

NORMA: ASTM D 1883 - MTCE 132

Proyecto : Calibración de la Ecuación de Correlación entre el P.D.C y CBR bajo incidencia de la humedad, en Suelos a Nivel de la Subrasante caso de estudio vía Juliaca – Caracoto.
Ubicación : Juliaca - Puno - Perú
Fecha : 07/11/2018
Operador : J.O.P.N
Calicata : C-13 **Progresiva:** 3+ 125.00

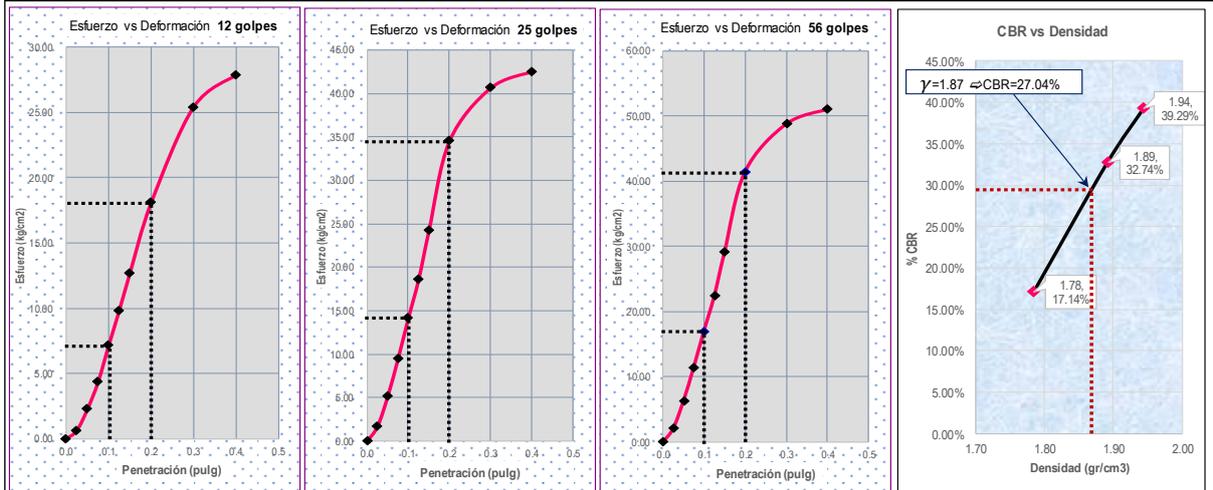
Cota Superficial : 3,825.00msnm
Coordenada (Este) : 381476.00
Coordenada (Norte) : 8279763.00
Profundidad Total : 1.50m

1.00 CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA Y MOLDE

MOLDE	12 golpes			25 golpes			56 golpes		
Altura Molde (cm)	11.40			11.30			11.30		
Diámetro Molde (cm)	15.20			15.20			15.20		
Área Molde (cm ²)	181.46			181.46			181.46		
Condición de la Muestra	Remoldeada			Remoldeada			Remoldeada		
P.Húm. + Molde (gr)	11,015.00			11,648.00			12,319.00		
Peso Molde (gr)	7,323.00			7,769.00			8,332.00		
Peso Húmedo (gr)	3,692.00			3,879.00			3,987.00		
Vol. Molde (cc)	2,068.63			2,050.48			2,050.48		
Densidad Húmeda. (gr/cm ³)	1.78			1.89			1.94		
Número de Ensayo	1-A	1-B	1-C	2-A	2-B	2-C	3-A	3-B	3-C
P.Húm. + Tara (gr)	89.00	85.47		89.25	84.98		103.67	99.03	
Peso Seco + Tara (gr)	80.42	77.16		80.56	76.84		92.63	88.96	
Peso Agua (gr)	8.58	8.31		8.69	8.14		11.04	10.07	
Peso Tara (gr)	15.44	14.37		15.25	15.04		13.24	14.44	
P. muestra Seca (gr)	64.98	62.79		65.31	61.8		79.39	74.52	
Cont. De Humedad %	13.20%	13.23%		13.31%	13.17%		13.91%	13.51%	
Cont. Hume. Prom.	13.22%			13.24%			13.71%		
Densidad Seca. (gr/cm ³)	1.576			1.671			1.710		

2.00 ENSAYO CARGA - PENETRACIÓN

PENETRACIÓN		12 golpes			25 golpes			56 golpes			Area del pison:		
(mm)	(Pulg)	CARGA	ESFUERZO	% CBR	CARGA	ESFUERZO	% CBR	CARGA	ESFUERZO	% CBR	19.24		
0.000	0.000	0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00				
0.63= 30s	0.025	12.50	0.64		33.50	1.71		40.20	2.05				
1.27= 1.0m	0.050	44.50	2.27		102.00	5.19		122.40	6.23				
1.9= 1.50m	0.075	85.00	4.33		186.50	9.50		223.80	11.40				
2.54= 2m	0.100	140.00	7.13	10.14%	278.00	14.16	20.14%	333.60	16.99	24.16%			
3.17= 2.5m	0.125	193.00	9.83		365.00	18.59		438.00	22.31				
3.81= 3m	0.150	249.00	12.68		475.00	24.19		570.00	29.03				
5.08= 4m	0.200	355.00	18.08	17.14%	678.00	34.53	32.74%	813.60	41.44	39.29%			
7.62= 6m	0.300	499.00	25.41		798.00	40.64		957.60	48.77				
10.16= 8m	0.400	547.00	27.86		835.00	42.53		1002.00	51.03				
Promedio del valor de CBR		13.64%			Promedio del valor de CBR			26.44%			Promedio del valor de CBR		31.73%



3.00 RESUMEN DE LOS RESULTADOS

Molde	Condición de Muestra	Humedad (%w)	Densidad Húmeda (gr/cm ³)	Densidad Seca (gr/cm ³)	Valor de CBR (0.1")	Valor de CBR (0.2")	CBR PROMEDIO (%)
I	Inalterada	13.22%	1.78	1.576	10.14%	17.14%	17.14%
II	Inalterada	13.24%	1.89	1.671	20.14%	32.74%	32.74%
III	Inalterada	13.71%	1.94	1.710	24.16%	39.29%	39.29%
RESULTADOS:		13.39%	1.87	1.65	18.15%	29.73%	29.73%



ENSAYO DE CBR SOBRE MUESTRA REMOLDEADA

NORMA: ASTM D 1883 - MTCE 132

Proyecto : Calibración de la Ecuación de Correlación entre el P.D.C y CBR bajo incidencia de la humedad, en Suelos a Nivel de la Subrasante caso de estudio vía Juliaca – Caracoto.
Ubicación : Juliaca - Puno - Perú
Fecha : 07/11/2018
Operador : J.O.P.N
Calicata : C-14 **Progresiva:** 3+ 375.00

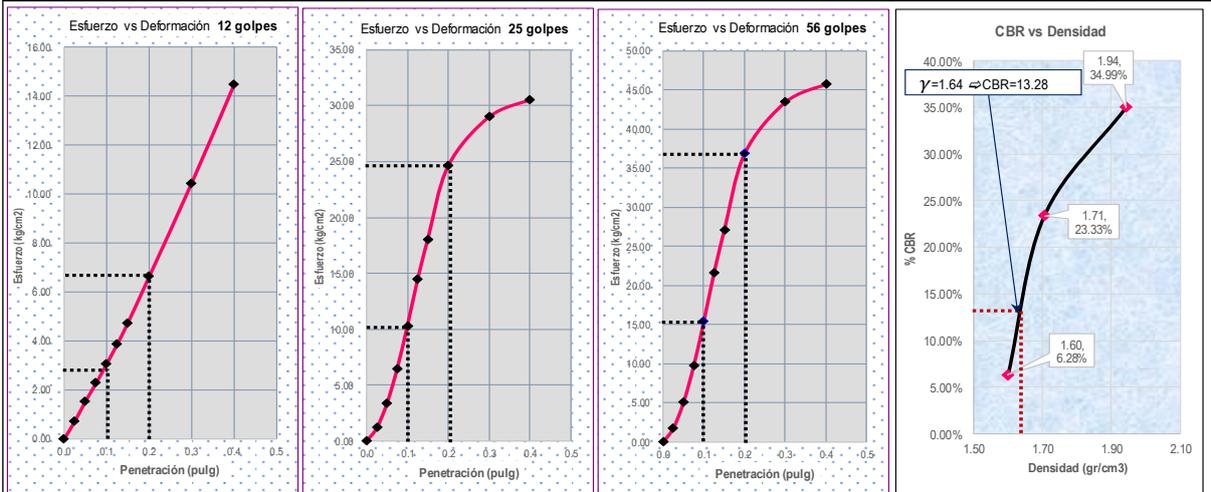
Cota Superficial : 3,827.00msnm
Coordenada (Este) : 381579.00
Coordenada (Norte) : 8279528.00
Profundidad Total : 1.50m

1.00 CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA Y MOLDE

MOLDE	12 golpes			25 golpes			56 golpes		
Altura Molde (cm)	11.40			11.30			11.30		
Diámetro Molde (cm)	15.20			15.20			15.20		
Área Molde (cm ²)	181.46			181.46			181.46		
Condición de la Muestra	Remoldeada			Remoldeada			Remoldeada		
P.Húm. + Molde (gr)	10,637.00			11,269.00			12,319.00		
Peso Molde (gr)	7,323.00			7,769.00			8,332.00		
Peso Húmedo (gr)	3,314.00			3,500.00			3,987.00		
Vol. Molde (cc)	2,068.63			2,050.48			2,050.48		
Densidad Húmeda. (gr/cm ³)	1.60			1.71			1.94		
Número de Ensayo	1-A	1-B	1-C	2-A	2-B	2-C	3-A	3-B	3-C
P.Húm. + Tara (gr)	91.22	105.54		96.52	97.74		77.60	69.20	
Peso Seco + Tara (gr)	85.27	98.36		89.92	91.07		72.44	64.78	
Peso Agua (gr)	5.95	7.18		6.6	6.67		5.16	4.42	
Peso Tara (gr)	15.91	15.01		15.48	14.94		13.85	14.28	
P. muestra Seca (gr)	69.36	83.35		74.44	76.13		58.59	50.5	
Cont. De Humedad %	8.58%	8.61%		8.87%	8.76%		8.81%	8.75%	
Cont. Hume. Prom.	8.60%			8.81%			8.78%		
Densidad Seca. (gr/cm ³)	1.475			1.569			1.787		

2.00 ENSAYO CARGA - PENETRACIÓN

PENETRACIÓN		12 golpes			25 golpes			56 golpes		
(mm)	(Pulg)	CARGA	ESFUERZO	% CBR	CARGA	ESFUERZO	% CBR	CARGA	ESFUERZO	% CBR
0.000	0.000	0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00	
0.63= 30s	0.025	14.00	0.71		23.00	1.17		34.50	1.76	
1.27 = 1.0m	0.050	30.00	1.53		66.00	3.36		99.00	5.04	
1.9 = 1.50m	0.075	44.50	2.27		127.00	6.47		190.50	9.70	
2.54= 2m	0.100	60.00	3.06	4.35%	202.00	10.29	14.63%	303.00	15.43	21.95%
3.17= 2.5m	0.125	76.00	3.87		283.00	14.41		424.50	21.62	
3.81= 3m	0.150	93.00	4.74		354.00	18.03		531.00	27.04	
5.08= 4m	0.200	130.00	6.62	6.28%	483.00	24.60	23.33%	724.50	36.90	34.99%
7.62= 6m	0.300	205.00	10.44		569.00	28.98		853.50	43.47	
10.16= 8m	0.400	284.00	14.46		599.00	30.51		898.50	45.76	
		Promedio del valor de CBR			Promedio del valor de CBR			Promedio del valor de CBR		
		5.31%			18.98%			28.47%		



3.00 RESUMEN DE LOS RESULTADOS

Molde	Condición de Muestra	Humedad (%w)	Densidad Húmeda (gr/cm ³)	Densidad Seca (gr/cm ³)	Valor de CBR (0.1")	Valor de CBR (0.2")	CBR PROMEDIO (%)
I	Inalterada	8.60%	1.60	1.475	4.35%	6.28%	6.28%
II	Inalterada	8.81%	1.71	1.569	14.63%	23.33%	23.33%
III	Inalterada	8.78%	1.94	1.787	21.95%	34.99%	34.99%
RESULTADOS:		8.73%	1.75	1.61	13.64%	21.53%	21.53%



ENSAYO DE CBR SOBRE MUESTRA REMOLDEADA

NORMA: ASTM D1883 - MTCE132

Proyecto : Calibración de la Ecuación de Correlación entre el P.D.C y CBR bajo incidencia de la humedad, en Suelos a Nivel de la Subrasante caso de estudio vía Juliaca – Caracoto.
Ubicación : Juliaca - Puno - Perú
Fecha : 07/11/2018
Operador : J.O.P.N
Calicata : C-15 **Progresiva:** 3+ 625.00

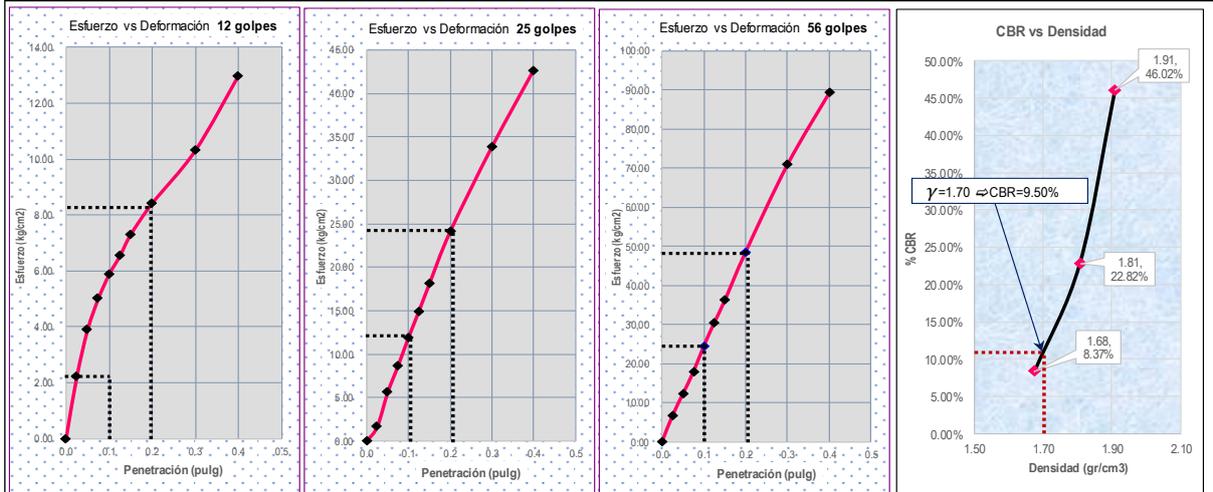
Cota Superficial : 38,829.00msnm
Coordenada (Este) : 381680.00
Coordenada (Norte) : 8279292.00
Profundidad Total : 1.50m

1.00 CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA Y MOLDE

MOLDE	12 golpes			25 golpes			56 golpes		
Altura Molde (cm)	11.40			11.30			11.30		
Diámetro Molde (cm)	15.20			15.20			15.20		
Área Molde (cm ²)	181.46			181.46			181.46		
Condición de la Muestra	Remoldeada			Remoldeada			Remoldeada		
P.Húm. + Molde (gr)	10,793.00			11,478.00			12,250.00		
Peso Molde (gr)	7,323.00			7,769.00			8,332.00		
Peso Húmedo (gr)	3,470.00			3,709.00			3,918.00		
Vol. Molde (cc)	2,068.63			2,050.48			2,050.48		
Densidad Húmeda. (gr/cm ³)	1.68			1.81			1.91		
Número de Ensayo	1-A	1-B	1-C	2-A	2-B	2-C	3-A	3-B	3-C
P.Húm. + Tara (gr)	74.26	83.26		70.96	87.80		82.40	76.60	
Peso Seco + Tara (gr)									
Peso Agua (gr)	74.26	83.26		70.96	87.8		82.4	76.6	
Peso Tara (gr)	15.01	15.16		15.36	14.28		15.00	14.47	
P. muestra Seca (gr)	-15.01	-15.16		-15.36	-14.28		-15	-14.47	
Cont. De Humedad %	-494.74%	-549.21%		-461.98%	-614.85%		-549.33%	-529.37%	
Cont. Hume. Prom.	-521.97%			-538.41%			-539.35%		
Densidad Seca. (gr/cm ³)	-0.398			-0.413			-0.435		

2.00 ENSAYO CARGA - PENETRACIÓN

PENETRACIÓN		12 golpes			25 golpes			56 golpes		
(mm)	(Pulg)	CARGA	ESFUERZO	% CBR	CARGA	ESFUERZO	% CBR	CARGA	ESFUERZO	% CBR
0.000	0.000	0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00	
0.63= 30s	0.025	43.50	2.22		32.50	1.66		131.00	6.67	
1.27 = 1.0m	0.050	76.50	3.90		109.50	5.58		241.00	12.27	
1.9 = 1.50m	0.075	98.50	5.02		170.00	8.66		351.00	17.88	
2.54= 2m	0.100	115.50	5.88	8.37%	233.50	11.89	16.91%	481.00	24.50	34.84%
3.17= 2.5m	0.125	128.50	6.54		293.00	14.92		598.00	30.46	
3.81= 3m	0.150	143.50	7.31		354.50	18.05		709.00	36.11	
5.08= 4m	0.200	165.50	8.43	7.99%	472.50	24.06	22.82%	953.00	48.54	46.02%
7.62= 6m	0.300	202.50	10.31		663.50	33.79		1391.00	70.84	
10.16= 8m	0.400	255.00	12.99		836.50	42.60		1751.00	89.18	
		Promedio del valor de CBR			Promedio del valor de CBR			Promedio del valor de CBR		
		8.18%			19.87%			40.43%		



3.00 RESUMEN DE LOS RESULTADOS

Molde	Condición de Muestra	Humedad (%w)	Densidad Húmeda (gr/cm ³)	Densidad Seca (gr/cm ³)	Valor de CBR (0.1")	Valor de CBR (0.2")	CBR PROMEDIO (%)
I	Inalterada	-521.97%	1.68	-0.398	8.37%	7.99%	8.37%
II	Inalterada	-538.41%	1.81	-0.413	16.91%	22.82%	22.82%
III	Inalterada	-539.35%	1.91	-0.435	34.84%	46.02%	46.02%
RESULTADOS:		-533.25%	1.80	-0.42	20.04%	25.61%	25.61%



ENSAYO DE CBR SOBRE MUESTRA REMOLDEADA

NORMA: ASTM D 1883 - MTCE 132

Proyecto : Calibración de la Ecuación de Correlación entre el P.D.C y CBR bajo incidencia de la humedad, en Suelos a Nivel de la Subrasante caso de estudio via Juliaca – Caracoto.
Ubicación : Juliaca - Puno - Perú
Fecha : 07/11/2018
Operador : J.O.P.N
Calicata : C-16-2 **Progresiva:** 3+ 750.00

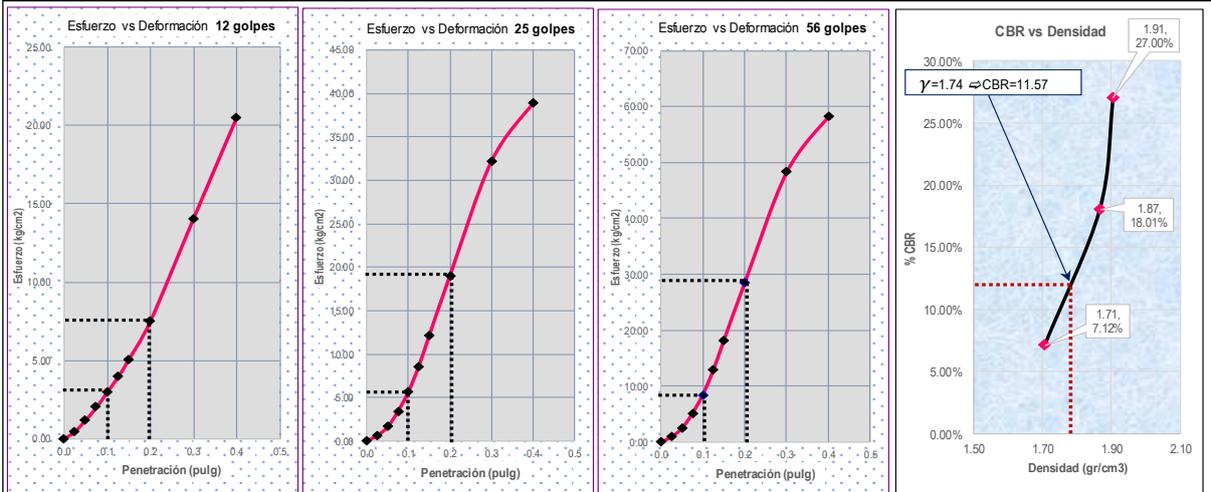
Cota Superficial : 3,830.00msnm
Coordenada (Este) : 381788.00
Coordenada (Norte) : 8279030.00
Profundidad Total : 1.50m

1.00 CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA Y MOLDE

MOLDE	12 golpes			25 golpes			56 golpes		
Altura Molde (cm)	11.40			11.30			11.30		
Diámetro Molde (cm)	15.20			15.20			15.20		
Área Molde (cm ²)	181.46			181.46			181.46		
Condición de la Muestra	Remoldeada			Remoldeada			Remoldeada		
P.Húm. + Molde (gr)	10,851.00			11,596.00			12,240.00		
Peso Molde (gr)	7,323.00			7,769.00			8,332.00		
Peso Húmedo (gr)	3,528.00			3,827.00			3,908.00		
Vol. Molde (cc)	2,068.63			2,050.48			2,050.48		
Densidad Húmeda. (gr/cm ³)	1.71			1.87			1.91		
Número de Ensayo	1-A	1-B	1-C	2-A	2-B	2-C	3-A	3-B	3-C
P.Húm. + Tara (gr)	81.26	85.53		110.25	92.54		56.63	98.86	
Peso Seco + Tara (gr)									
Peso Agua (gr)	81.26	85.53		110.25	92.54		56.63	98.86	
Peso Tara (gr)	16.42	13.41		16.09	13.95		15.49	25.03	
P. muestra Seca (gr)	-16.42	-13.41		-16.09	-13.95		-15.49	-25.03	
Cont. De Humedad %	-494.88%	-637.81%		-685.21%	-663.37%		-365.59%	-394.97%	
Cont. Hume. Prom.	-566.35%			-674.29%			-380.28%		
Densidad Seca. (gr/cm ³)	-0.366			-0.325			-0.680		

2.00 ENSAYO CARGA - PENETRACIÓN

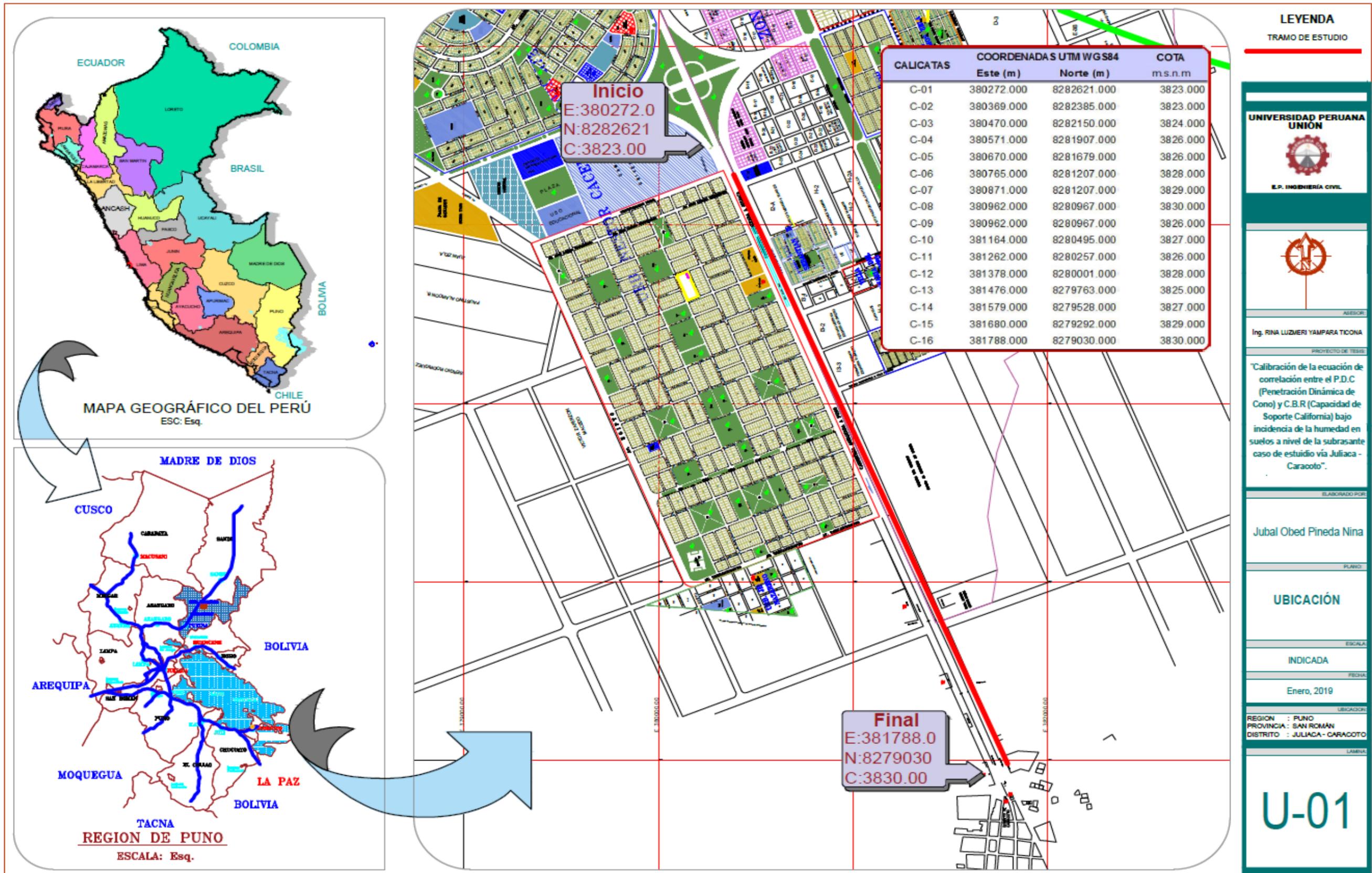
PENETRACIÓN		12 golpes			25 golpes			56 golpes		
(mm)	(Pulg)	CARGA	ESFUERZO	% CBR	CARGA	ESFUERZO	% CBR	CARGA	ESFUERZO	% CBR
0.000	0.000	0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00	
0.63= 30s	0.025	9.00	0.46		12.00	0.61		18.00	0.92	
1.27 = 1.0m	0.050	23.50	1.20		31.50	1.60		47.50	2.42	
1.9 = 1.50m	0.075	39.50	2.01		66.50	3.39		99.80	5.08	
2.54= 2m	0.100	58.50	2.98	4.24%	110.50	5.63	8.00%	166.00	8.45	12.02%
3.17= 2.5m	0.125	77.50	3.95		168.00	8.56		252.00	12.83	
3.81= 3m	0.150	99.50	5.07		237.00	12.07		355.50	18.11	
5.08= 4m	0.200	147.50	7.51	7.12%	373.00	19.00	18.01%	559.00	28.47	27.00%
7.62= 6m	0.300	276.00	14.06		632.00	32.19		948.00	48.28	
10.16= 8m	0.400	402.50	20.50		763.00	38.86		1144.50	58.29	
Promedio del valor de CBR		5.68%			13.01%			19.51%		



3.00 RESUMEN DE LOS RESULTADOS

Molde	Condición de Muestra	Humedad (%w)	Densidad Húmeda (gr/cm ³)	Densidad Seca (gr/cm ³)	Valor de CBR (0.1")	Valor de CBR (0.2")	CBR PROMEDIO (%)
I	Inalterada	-566.35%	1.71	-0.366	4.24%	7.12%	7.12%
II	Inalterada	-674.29%	1.87	-0.325	8.00%	18.01%	18.01%
III	Inalterada	-380.28%	1.91	-0.680	12.02%	27.00%	27.00%
RESULTADOS:		-540.30%	1.83	-0.46	8.09%	17.38%	17.38%

ANEXO C: PLANO DE UBICACIÓN DEL PROYECTO



ANEXO D: CERTIFICADO DE LABORATORIO



ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

CONSTANCIA

El que suscribe Ing. Herson Duberly Pari Cusi; Coordinador de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Peruana Unión – Filial Juliaca.

HACE CONSTAR

Que el Bachiller en Ingeniería Civil: **JUBAL OBED PINEDA NINA** Código universitario N° 201322699

Ha realizado ensayos en el Laboratorio de Mecánica de Suelos para completar su trabajo de tesis denominado: **“Calibración de la Ecuación de Correlación entre el P.D.C y C.B.R bajo incidencia de la humedad, en Suelos a Nivel de la Subrasante caso de estudio vía Juliaca - Caracoto”** con la finalidad de obtener el título profesional de Ingeniero Civil.

Los ensayos efectuados por el tesista fueron los siguientes:

- ✓ 19 Ensayos de Análisis Granulométrico por Tamizado.
- ✓ 09 Ensayos de Límite Líquido.
- ✓ 09 Ensayos de Límite Plástico.
- ✓ 18 Ensayos CBR.
- ✓ 09 Ensayos de Contenido de Humedad.

Los trabajos se realizaron en el Laboratorio de Mecánica de Suelos, llevándose a cabo entre 05/09/18 al 23/10/18.

Se expide la presente constancia a solicitud del interesado para los fines que estime por conveniente.

Juliaca, Villa Chullunquiari, 21 de diciembre de 2018



Ing. Herson Duberly Pari Cusi
Coordinador E.P. de Ingeniería Civil

Ing. Yesenia Apaza Pinto
Encargada del Laboratorio de
Mecánica de Suelos