

Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua

UNAN- RURD

Facultad de Ciencias e Ingenierías

Departamento de Construcción

Ingeniería Civil.



Monografía para optar al título de Ingeniero Civil.

Título:

"Determinación de la resistencia de corte de los suelos de las comarcas: Buena vista, El Castillo N°1, Garnacha y Calle Campo Deportivo, municipio de San Juan de Oriente, departamento de Masaya".

Autores:

 Br. Yasser Jovany López Beteta.

 Br. Jarim Elery López Sevilla.

Tutor: Msc. Horacio Ulloa.

Asesor metodológico: Msc. Sergio Ramírez Lanzas.

Septiembre, 2016.



 **INDICE GENERAL.**

<i>Dedicatorias</i>	<i>xii</i>
<i>Agradecimientos</i>	<i>xiv</i>
Resumen.	xvii
1. CAPÍTULO 1: CAPITULOS INTRODUCTORIOS.	1
1.1. Antecedentes.	3
1.2. Planteamiento del problema:	4
1.2.1. Argumentación.....	4
1.3. Justificación:	5
1.4. Alcances y limitaciones.	7
1.5. Objetivos.	9
1.5.1. Objetivo general:.....	9
1.5.2. Objetivos específicos:.....	9
2. CAPÍTULO 2: DESCRIPCIÓN DEL SITIO.	10
2.1. Información general del municipio	10
2.1.1. Localización.	10
2.1.2. Localidades.	10
2.1.3. Aspectos físicos naturales.	12
2.1.3.1. Geomorfología.	12
2.1.3.2. Topografía.	12
2.1.3.3. Suelos.	12
2.1.3.4. Amenazas geológicas.	12
3. CAPÍTULO 3: MARCO TEÓRICO.	14
3.1. Obtención de muestras de suelos.	14
3.1.1. Tipos de sondeos.....	14
3.1.1.1. Métodos de exploración de carácter preliminar.	14
3.1.1.2. Métodos de sondeo definitivo.....	15
3.1.1.3. Métodos geofísicos.	15
3.1.2. Profundidad de perforaciones.....	15
3.1.3. Perfil de suelos.	15
3.1.4. Secado de muestras alteradas.....	16
3.1.5. Disgregación de muestras alteradas.	16
3.1.6. Proceso de cuarteo de muestras alteradas.....	17
3.2. Propiedades fisico-mecánicas de los suelos.	17
3.2.1. Contenido de agua en un suelo.....	17
3.2.2. Peso específico relativo de los sólidos (Gravedad específica).....	17
3.2.3. Granulometría.	18
3.2.3.1. Análisis mecánico o método por tamizado.....	18
3.2.3.2. Granulometría por sedimentación o método del hidrómetro.....	20
3.2.4. Plasticidad de los suelos.	22
3.2.4.1. Limite líquido.	23



3.2.4.2.	Limite plástico.	24
3.2.4.3.	Índice de plasticidad.	25
3.2.5.	Compactación de los suelos.	25
3.2.5.1.	Prueba de Proctor.	26
3.2.6.	Sistemas de clasificación de suelos.	28
3.2.6.1.	Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (U.S.C.S).	28
3.2.6.2.	Sistema de clasificación A.A.S.H.T.O.	32
3.3.	Esfuerzos de corte de los suelos, rigidez transversal o módulo de corte y módulo de Young o módulo de elasticidad).	34
3.3.1.	Resistencia de los suelos al esfuerzo de corte.	34
3.3.1.1.	Angulo de fricción interna de los suelos.	34
3.3.1.2.	Factor cohesión de los suelos.	36
3.3.1.3.	Distribución de presiones en la masa de los suelos.	37
3.3.2.	Control no nuclear de compactación del suelo en terreno mediante rigidez y módulo de elasticidad (Norma ASTM D6758).	37
3.3.2.1.	Generalidades.	37
3.3.2.2.	Concepto de GEOGAUGE.	38
3.3.2.3.	Especificaciones técnicas del GEO-GAUGE H-4140.	38
3.3.3.	Propiedades mecánicas a partir de la relación esfuerzo-deformación de los suelos.	41
3.3.3.1.	Módulo de elasticidad o módulo de Young (E).	41
3.3.3.2.	Módulo de Rigidez o módulo de elasticidad tangencial (G).	41
3.3.3.3.	Deformación unitaria longitudinal (ϵ).	41
3.3.3.4.	Deformación angular o deformación de cizalladura (γ).	46
4.	CAPÍTULO 4: DISEÑO METODOLÓGICO.	47
4.1.	Tipo de estudio.	47
4.2.	Universo y población.	47
4.3.	Muestra.	47
4.4.	Técnicas de recopilación de datos.	48
4.5.	Operacionalización de variables.	49
5.	CAPÍTULO 5: OBTENCION DE MUESTRAS, EQUIPO Y PRUEBAS DE LABORATORIO.	53
5.1.	Recolección y muestreo de suelo en la zona de estudio.	53
5.1.1.	Equipos:	53
5.1.2.	Procedimientos:	53
5.1.2.1.	Procedimientos para obtención de muestras alteradas:	53
5.1.2.2.	Procedimientos para obtención de muestras inalteradas.	54
5.2.	Propiedades índices.	57
5.2.1.	Determinación del contenido de humedad.	57
5.2.1.1.	Norma: ASTM D-2216	57
5.2.1.2.	Equipos:	57
5.2.1.3.	Procedimientos:	58
5.2.2.	Determinación de la gravedad específica.	58
5.2.2.1.	Norma: ASTM D-854; AASHTO T 93-86	58
5.2.2.2.	Equipos:	59



5.2.2.3.	Procedimientos:	59
5.2.3.	Determinación del análisis granulométrico (método mecánico)._	60
5.2.3.1.	Norma: ASTM D-422; AASHTO 27-88.....	60
5.2.3.2.	Equipos:.....	60
5.2.3.3.	Procedimientos:	60
5.2.4.	Determinación del análisis granulométrico (método del hidrométrico).	61
5.2.4.1.	Norma: ASTM D-422; AASHTO T 88.	61
5.2.4.2.	Equipos:.....	61
5.2.4.3.	Procedimientos:	61
5.2.5.	Determinación de los límites de Atterberg.	62
5.2.5.1.	Norma del límite líquido y límite plástico: ASTM D 4318; AASHTO T 89-90 y T 90-87. 62	
5.2.5.2.	Equipos para límite líquido:	62
5.2.5.3.	Procedimientos para límite líquido:.....	63
5.2.5.4.	Equipos para límite plástico:	64
5.2.5.5.	Procedimientos para límite plástico:	64
5.2.6.	Prueba de compactación de suelos "Proctor modificado".	65
5.2.6.1.	Equipos:.....	65
5.2.6.2.	Procedimientos:	65
5.3.	Pruebas de resistencia.....	66
5.3.1.	Determinación del esfuerzo a compresión axial utilizando el penetrómetro de bolsillo. 66	
5.3.1.1.	Norma: ASTM 2166-66, AASHTO T208-70.	66
5.3.1.2.	Equipos:.....	66
5.3.1.3.	Procedimientos:	67
5.3.2.	Determinación de la rigidez de capa y módulo de Young con el Geo Gauge H-4140. 68	
5.3.2.1.	Norma: ASTM D- 6758.....	68
5.3.2.2.	Equipos:.....	68
5.3.2.3.	Especificaciones técnicas del Geo Gauge H- 4140.	69
5.3.2.4.	Procedimientos:	69
6.	CAPÍTULO 6: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	72
6.1.	Determinación de puntos de sondeo mediante calicatas para muestras alteradas e inalteradas.....	72
6.2.	Características físicas y mecánicas de las muestras de suelo.	75
6.2.1.	Resultados obtenidos de las pruebas de laboratorio.....	75
6.2.1.1.	Análisis de resultados de pruebas de laboratorio.....	77
6.2.1.2.	Análisis de los resultados del proceso de clasificación de suelos AASHTO.....	79
6.2.1.3.	Análisis de los resultados del proceso de clasificación de suelos U.S.C.S.....	79
6.3.	Esfuerzo cortante, rigidez de capa y módulo de Young en muestras inalteradas.	81
6.3.1.	Resultados obtenidos sobre Cálculo de la resistencia de corte dada por la ecuación de Coulomb, y la Rigidez de capa y módulo de Young usando el GEO GAUGE H-4140.	81
6.3.2.	Análisis de resultados obtenidos.....	82
6.4.	Recomendaciones técnicas para el desarrollo constructivo de obras verticales en el municipio de San Juan de Oriente.	84
7.	CAPÍTULO 7: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	86



INDICE

8. BIBLIOGRAFÍA.....	90
9. ANEXOS.....	93



▪ **ÍNDICE DE ECUACIONES.**

Ecuación 3. 1. Contenido de humedad en un suelo. _____	17
Ecuación 3. 2. Peso específico relativo de los sólidos de un suelo. _____	18
Ecuación 3. 3. Coeficiente de Uniformidad _____	19
Ecuación 3. 4. Coeficiente de curvatura. _____	20
Ecuación 3. 5. Velocidad de sedimentación de partículas. _____	21
Ecuación 3. 6. Diámetro de partículas según Stokes. _____	22
Ecuación 3. 7. Contenido de agua en función de factores de fluidez. _____	23
Ecuación 3. 8. Limite líquido de un suelo. _____	23
Ecuación 3. 9. Limite plástico de un suelo. _____	24
Ecuación 3. 10. Índice de plasticidad de los suelos. _____	25
Ecuación 3. 11. Peso volumétrico húmedo. _____	26
Ecuación 3. 12. Contenido de humedad de un suelo. _____	26
Ecuación 3. 13. Peso volumétrico seco. _____	27
Ecuación 3. 14. Peso volumétrico seco de saturación teórica. _____	28
Ecuación 3. 15. Índice de grupo. _____	32
Ecuación 3. 16. Resistencia de esfuerzo cortante. _____	34
Ecuación 3. 17. Calculo de la cohesión mediante la prueba de compresión axial no confinada. _____	36
Ecuación 3. 18. Rigidez de capa o módulo de corte. _____	39
Ecuación 3. 19. Módulo de Young o módulo de elasticidad. _____	39
Ecuación 3. 20. Deformación unitaria longitudinal. _____	41
Ecuación 3. 21. Determinación de asentamientos instantáneos utilizando la teoría de la elasticidad. _____	43
Ecuación 3. 22. Calculo de asentamiento propuesto por Schmertmann para suelos homogéneos. _____	46

▪ **ÍNDICE DE FIGURAS.**

Figura 1. 1. Mapas de macro localización y micro localización del sitio en estudio. _____	1
Figura 2. 1. Georreferenciación de los puntos de sondeos. _____	11
Figura 3. 1. Perfil estratigráfico de suelos (Villalaz, 2004). _____	16
Figura 3. 2. Curva de composición granulométrica de partículas (Das, 1999). _____	19
Figura 3. 3. Estados de consistencia de los suelos establecidos por Atterberg (Das, 1999). _____	22



INDICE

Figura 3. 4. Curva de compactación y curva de cero vacíos de un suelo (Villalaz, 2004).	27
Figura 3. 5. Carta de plasticidad propuesta por Arthur Casagrande (Das, 1999).	31
Figura 3. 6. Curva de esfuerzo-deformación unitaria (Navarro, 2006).	40
Figura 3. 7. Asentamientos permisibles en función del tipo de asentamiento que sufra la estructura (Skemton & McDonald, 1956).	44
Figura 3. 8. Método propuesto por Schmertmann para el cálculo de asentamiento en suelos granulares (Henríquez, Pedrals, & Valdés, 2009).	45
Figura 5. 1. Variación de estratos en la Calicata N°1.	55
Figura 5. 2. Extracción de muestra inalterada de la calicata N°1.	55
Figura 5. 3. Preparación de la muestra inalterada de la calicata N°2 para su posterior traslado hacia el laboratorio.	56
Figura 5. 4. Caja de madera de traslado para muestra inalterada de la calicata N°2.	56
Figura 5. 5. Muestras alteradas extraídas de la calicata N°4.	57
Figura 5. 6. Penetrómetro de esfuerzo a compresión axial.	67
Figura 5. 7. Toma de lectura de esfuerzo a compresión axial sobre la superficie de la muestra inalterada de la calicata N°2.	68
Figura 5. 8. Equipo Geo Gauge H-4140 Humboldt (Norma ASTM D-6758).	69
Figura 5. 9. Ubicación del equipo Geo Gauge H-4140 sobre la superficie de la muestra inalterada de la calicata N°2.	70
Figura 5. 10. Lectura de rigidez de capa en unidades internacionales en muestra inalterada de la calicata N°2.	71
Figura 5. 11. Lectura de módulo de elasticidad en unidades internacionales en muestra inalterada de la calicata N°2.	71
Figura 6. 1. Perfil estratigráfico-Calicata N°1.	73
Figura 6. 2. Perfil estratigráfico-Calicata N°2.	73
Figura 6. 3. Perfil estratigráfico-Calicata N°3.	74
Figura 6. 4. Perfil estratigráfico-Calicata N°4.	74

▪ ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 3. 1. Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (U.S.C.S) (Rochs, 2007).	30
Tabla 3. 2. Clasificación de suelos y de mezclas de agregados de la American Association of State Highway Transportation Officials (Schols Brownn, 2003).	33



INDICE

Tabla 3. 4. Ángulos de fricción para diferentes tipos de suelos. _____	35
Tabla 3. 5. Ángulos de fricción δ° entre varios materiales y suelos o rocas. _____	35
Tabla 4. 1. Coordenadas de puntos de sondeos. _____	48
Tabla 6. 1. Características físicas y mecánicas de las muestras de suelo de cada calicata. _____	76
Tabla 6. 2. Resistencias de corte dadas por la ecuación de Coulomb para muestras inalteradas. ____	81
Tabla 6. 3. Calculo de distribución de presiones en función de asentamientos elásticos en muestras inalteradas. _____	82
Tabla 10. 1. Encuesta socio-económica para evaluación estructural de las viviendas del municipio de San Juan de Oriente. _____	94

▪ ÍNDICE DE GRÁFICAS.

Grafica 9. 1. Tipos de materiales de construcción en las viviendas del municipio de San Juan de Oriente (Alcaldía Municipal del municipio de San Juan de Oriente, 2014). _____	96
Grafica 9. 2. Tipos de materiales en la estructura de piso de las viviendas del municipio de San Juan de Oriente (Alcaldía Municipal del municipio de San Juan de Oriente, 2014). _____	96
Grafica 9. 3. Tipos de materiales en la estructura de piso de las viviendas del municipio de San Juan de Oriente (Alcaldía Municipal del municipio de San Juan de Oriente, 2014). _____	97
Grafica 9. 4. Niveles de viviendas del municipio de San Juan de Oriente (Alcaldía Municipal del municipio de San Juan de Oriente, 2014). _____	97
Grafica 9. 5. Nivel de desplante de las viviendas del municipio de San Juan de Oriente (Alcaldía Municipal del municipio de San Juan de Oriente, 2014). _____	98
Grafica 9. 6. Evaluación de viviendas del municipio de San Juan de Oriente (Alcaldía Municipal del municipio de San Juan de Oriente, 2014). _____	98
Grafica 9. 7. Tipos de sistemas constructivos de las viviendas del municipio de San Juan de Oriente (Alcaldía Municipal del municipio de San Juan de Oriente, 2014). _____	99
Grafica 9. 8. Uso de viviendas del municipio de San Juan de Oriente (Alcaldía Municipal del municipio de San Juan de Oriente, 2014). _____	99
Grafica 9. 9. Variación de contenidos de humedad en función de las profundidades de los estratos de las calicatas. _____	110
Grafica 9. 10. Distribución granulométrica de partículas-Calicata N°1. _____	110



INDICE

Grafica 9. 11. Distribución granulométrica de partículas-Calicata N°2. _____	111
Grafica 9. 12. Distribución granulométrica de partículas-Calicata N°3. _____	111
Grafica 9. 13. Distribución granulométrica de partículas-Calicata N°4. _____	112
Grafica 9. 14. Curva de fluidez-Calicata N°1. _____	112
Grafica 9. 15. Curva de fluidez-Calicata N°2. _____	113
Grafica 9. 16. Curva de fluidez-Calicata N°3. _____	113
Grafica 9. 17. Curva de fluidez-Calicata N°4. _____	114
Grafica 9. 18. Curva de compactación y curva de saturación para arena limosa Tipo 1. _____	114
Grafica 9. 19. Curva de compactación y curva de saturación para grava limosa Tipo 1. _____	115
Grafica 9. 20. Curva de compactación y curva de saturación para arena limosa Tipo 2. _____	115
Grafica 9. 21. Curva de compactación y curva de saturación para arena arcillosa Tipo 1. _____	116
Grafica 9. 22. Curva de compactación y curva de saturación para arena limosa Tipo 3. _____	116
Grafica 9. 23. Curva de compactación y curva de saturación para arena arcillosa Tipo 2. _____	117
Grafica 9. 24. Curva de compactación y curva de saturación para arena arcillosa Tipo 3. _____	117
Grafica 9. 25. Variabilidad de deformación longitudinal en función de la deformación cortante en la Muestra N°1. _____	118
Grafica 9. 26. Variabilidad de deformación longitudinal en función de la deformación cortante en la Muestra N°2. _____	118
Grafica 9. 27. Variabilidad de deformación longitudinal en función de la deformación cortante en la Muestra N°3. _____	119
Grafica 9. 28. Variabilidad de deformación longitudinal en función de la deformación cortante en la Muestra N°4. _____	119



Lista de símbolos.

- ✚ C-1: Calicata N°1.
- ✚ C-2: Calicata N°2.
- ✚ C-3: Calicata N°3.
- ✚ C-4: Calicata N°4.
- ✚ %W: Contenido de humedad en un suelo.
- ✚ W_w : Porcentaje de agua en un suelo.
- ✚ W_s : Porcentaje de material seco en un suelo.
- ✚ G_s : Gravedad específica o peso específico relativo de los sólidos.
- ✚ γ_s : Peso específico de los sólidos.
- ✚ γ_w : Peso específico del agua destilada a una temperatura de 4°C.
- ✚ V_s : Volumen de sólidos en un suelo.
- ✚ C_u : Coeficiente de uniformidad de partículas.
- ✚ C_c : Coeficiente de curvatura granulométrica.
- ✚ D_{60} : Tamaño tal, que el 60%, en peso, del suelo, sea igual o menor.
- ✚ D_{10} : Diámetro efectivo; tamaño tal que sea igual o mayor que el 10%, en peso, del suelo.
- ✚ D_{30} : Tamaño tal, que el 30%, en peso, del suelo, sea igual o mayor.
- ✚ v: velocidad de caída de las partículas.
- ✚ g: Aceleración de la gravedad.
- ✚ r: Radio de la esfera.
- ✚ D_a : Densidad absoluta del material.
- ✚ D_w : Densidad absoluta del agua.
- ✚ ρ : Viscosidad absoluta del agua.
- ✚ H: Altura de caída de la esfera.
- ✚ F_w : Índice de fluidez que es igual a la variación de w en un ciclo de escala logarítmica.
- ✚ N: Numero de golpes.
- ✚ C: Constante igual a la ordenada correspondiente a 1 golpe.
- ✚ W_T : Peso húmedo de una muestra de suelo.
- ✚ LL: Limite liquido de un suelo.
- ✚ LP: Limite plástico de un suelo.
- ✚ IP: Índice de plasticidad de un suelo.
- ✚ γ_h : Peso volumétrico húmedo.
- ✚ Ph: Peso del material húmedo compactado en el molde de compactación.
- ✚ V_t : Volumen del molde de compactación.
- ✚ γ_s : Peso volumétrico seco.
- ✚ γ_{scs} : Peso volumétrico seco de saturación teórica.



- ✚ Da: Densidad absoluta del material que pasa por la malla No.40 para prueba de compactación.
- ✚ Dr: Densidad relativa del material que pasa por la malla No.40 para prueba de compactación.
- ✚ G: Grava.
- ✚ C: Arcilla.
- ✚ M: Limo.
- ✚ S: Arena.
- ✚ O: Suelos orgánicos, turba.
- ✚ SM: Arena limosa.
- ✚ SC: Arena arcillosa.
- ✚ GM: Grava limosa.
- ✚ P: Indicador de graduado deficiente.
- ✚ W: Indicar de graduado adecuado.
- ✚ L: Sufijo que indica si el límite líquido del suelo es menor del 50%.
- ✚ H: Sufijo que indica si el límite líquido del suelo es mayor del 50%.
- ✚ A-1, A-2, A-3: Suelos de granulometría gruesa según el sistema de clasificación de suelos A.A.S.H.T.O.
- ✚ A-4, A-5, A-6, A-7: Suelos de granulometría fina según el sistema de clasificación de suelos A.A.S.H.T.O.
- ✚ Ig: Índice de grupo.
- ✚ F: Porcentaje que pasa por el tamiz No.200, expresado como un número entero.
- ✚ σ' : Esfuerzo normal efectivo en el plano de corte.
- ✚ c : Cohesión del suelo.
- ✚ Φ : Angulo de fricción.
- ✚ q_u : esfuerzo de ruptura a compresión axial.
- ✚ G: Modulo de rigidez de capa.
- ✚ E: Modulo de elasticidad o módulo de Young.
- ✚ τ : Esfuerzo de corte de los suelos.
- ✚ σ : Esfuerzo con dirección normal o esfuerzos efectivos.
- ✚ ϵ : Deformación unitaria del material.
- ✚ γ : Deformación cortante o deformación por cizalladura.
- ✚ ΔL : Deformación longitudinal.
- ✚ L: Longitud total del cuerpo.
- ✚ q : Intensidad de la presión efectiva de contacto.
- ✚ B: Ancho de fundación.
- ✚ I_p : Factor de influencia para el desplazamiento vertical.
- ✚ μ : Coeficiente de Poisson.



Dedicatorias.

A Dios nuestro creador que nos da la vida día a día para seguir luchando y lograr nuestras metas.

A mis padres: María Concepción Beteta y Eduardo José López por su gran apoyo incondicional durante la formación de mi vida principalmente en mi carrera universitaria.

A mis hermanos: Damaris, Darling, Darwing, Engels y Anielka por su apoyo y aliento en la culminación de esta etapa de mi vida.

A mi abuela: Sra. Adela Gaitán quien me brindo todo su apoyo y cariño durante mi estancia en su casa de habitación.

A mis sobrinos: Francela García y Hansell Hernández por ser parte importante en mi vida.

A todas las personas que hicieron posible estar hasta donde el momento he llegado.

Yasser Jovany López Beteta



Dedicatorias.

Primeramente a Dios Todopoderoso por darme la vida cada día, la sabiduría en cada asignatura, y las fuerzas para seguir adelante y no haberme detenido en medio de las circunstancias contrarias.

A mi madre Fátima del Carmen López Sevilla, quien fue esa persona que en todo momento confió en que podía terminar esta carrera y nunca se apagaron sus esperanzas en verme un día con mi carrera universitaria terminada. Con todo orgullo puedo decir que usted es mi madre y hoy principalmente gracias a usted soy quien soy: un profesional formado. Infinitas gracias madre, nunca le podré pagar todo lo que hizo por mí con tal que yo saliera adelante.

A mi novia, y ahora esposa Margarita Roa González por siempre compartirme esa aptitud de siempre seguir adelante y no mirar los momentos difíciles. A mi hija Jocabed Solange López González por traerme una felicidad a mi vida inimaginable y poder alentarme cada día a ser mejor persona y mejor profesional. A mi demás familia que de una u otra manera colaboraron en mi educación universitaria para ayudarme a formar lo que hoy soy.

A la generación de estudiantes de ingeniería civil 2011-2015, por haberme siempre apoyado cuando más lo necesitaba, y haber creado en mí una imagen de unidad y humildad sabiendo que una persona muchas veces necesita de la ayuda de otra persona, entre esta generación de estudiantes principalmente figuran: Greybin Borge, Denis Sandoval, Lester López, Erick García, Yasser López Beteta, Kevin Castro, Eduardo Duarte, compañeros que forjaron en gran manera mi perspectiva del aprendizaje en una carrera universitaria.

A los docentes que me impartieron cada asignatura de mi carrera, compartiendo así su conocimiento ingenieril en cada sesión de clase. Y a todas las personas que me apoyaron siempre de una u otra manera y podía siempre contra con ellos.

Jarim Elery López Sevilla



AGRADECIMIENTOS.

Agradecimientos.

A Dios todo poderoso que me dio la sabiduría, paciencia, fuerza y Fe para poder culminar mis estudios universitarios.

A mis padres por haberme brindado todo su amor y apoyo económico no solo en los cinco años de la carrera, sino también en la formación académica desde mi infancia.

A mis hermanas Damaris y Darling por el apoyo económico en la duración de mis estudios. A mi tutor Msc. Horacio Ulloa por instruirme y brindarme su valioso tiempo con sus grandes aportes en todas las etapas de este escrito.

A mi asesor Msc. Sergio Ramírez Lanzas por su gran disposición y apoyo para culminar este proyecto.

Al Instituto de Geología y Geofísica (IGG- CIGEO/UNAN-Managua), por permitirnos desarrollar esta investigación bajo su seno.

A mis maestros por haberme brindado su apoyo y conocimientos adquiridos en toda la carrera.

A mi compañero y amigo Jarim López por ser uno de los forjadores de la realización de este trabajo monográfico.

A mis compañeros de la generación 2011-2015 por haber compartido buenos y malos momentos durante la estancia en la carrera.

A la alcaldía del municipio de San Juan de Oriente bajo el gobierno de la Sra. Brenda del Carmen Jiménez Urbina, por haber apoyado en la realización de este proyecto monográfico. Al Ing. Orlando Gallegos por su apoyo logístico en realización de ciertas etapas de este trabajo.

Yasser Jovany López Beteta



Agradecimientos.

Agradezco primeramente al Dios Todopoderoso por darme la vida, las fuerzas, la sabiduría y la aptitud optimista siempre para salir adelante a pesar de las circunstancias adversas que se presentaron en todo este camino en esta carrera universitaria.

A mi madre Fátima del Carmen López Sevilla por darme siempre ese ejemplo de perseverancia aun en los momentos duros que se presentaron durante todo este tiempo, una mujer como ninguna puede haber en el mundo dejando y olvidando todo lo negativo atrás solo por tratar de sacarme adelante, no bastan palabras para describir lo inmensamente agradecido que me siento con usted madre, un modelo de ser humano a seguir para mí aun desde mi infancia.

A mis tías: Gregoria Chavarría, Cesia López, a mi abuela: María Sevilla por apoyarme siempre tanto económicamente como psicológicamente en todo el transcurso de mi carrera. A mi novia, que ahora es mi esposa, Margarita Roa González por apoyarme siempre en lo que más pudo siendo un punto especial más de motivación para poder culminar mis estudios.

A mi padre: Ismael Conde, por su apoyo incondicional en el área económica en estos últimos años de mi carrera y por su futuro apoyo en el área laboral.

A mi tutor: Msc. Horacio Ulloa por su apoyo y tiempo en cada consulta aportando así conocimiento ingenieril muy valioso para la ejecución de esta investigación. A mi asesor Msc. Sergio Ramírez Lanzas por su dedicado tiempo en cada sesión de consulta colaborando así en el área metodológica para la elaboración de este trabajo monográfico.

A los docentes de cada asignatura de mi carrera, quienes fueron participes de mi formación académica como ingeniero civil.

A mi compañero y amigo Yasser López Beteta por haber sido parte de la realización de esta investigación monográfica. A la generación 2011-2015 de estudiante de ingeniería civil de



AGRADECIMIENTOS.

la UNAN-Managua por haber sido parte esta gran etapa de mi vida y haberme ayudado cuando a veces más lo necesitaba. A instituciones gubernamentales así como privadas: autoridades de la alcaldía municipal del municipio de San Juan de Oriente, y el instituto de Geología y Geofísica (IGG-CIGEO/UNAN-Managua), sin las cuales no fuese sido posible haber realizado esta investigación.

Jarim Elery López Sevilla

**RESUMEN.**

Este estudio el cual se denomina: “Determinación de la resistencia de corte de los suelos de las comarcas: Buena vista, El Castillo N°1, Garnacha y Calle Campo Deportivo, municipio de San Juan de Oriente, departamento de Masaya”, pretende determinar la capacidad al esfuerzo cortante que poseen muestras representativas de suelo extraídas de dicho municipio, además de otros parámetros de resistencia importantes como módulos de elasticidad y rigidez, obteniendo así resultados con los cuales se podrá contar como datos geotécnicos reales para futuras obras civiles del municipio, tomando en cuenta que el municipio se encuentra en vías de desarrollo. Estos parámetros geotécnicos brindarán una mayor seguridad y eficiencia tanto en diseños como en procesos constructivos, evitando así disgregamiento de partículas, deslizamientos sobre líneas de rotura, y fluencia plástica (Villalaz, 2004), además se disminuiría el índice de empirismo con respecto a las consideraciones de las características físicas y mecánicas que presentan los suelos del municipio de San Juan de Oriente.

En lo correspondiente a la extracción de las muestras en el área de estudio se realizaron cuatro excavaciones en distintos puntos el municipio extraídas por el método de calcatas o pozo a cielo abierto a una profundidad de aproximadamente 2.10 metros; por lo cual dichas muestras se trasladaron a los laboratorios del IGG-CIGEO, de la UNAN-Managua donde se efectuaron las pruebas de laboratorio, y a su vez se clasificó el suelo según su tipología haciendo uso de los métodos: USCS y AASHTO, posteriormente se procedió a la determinación de la resistencia de corte de cada muestra de suelo en estudio.

Este estudio consiste en el análisis de las capacidades de Resistencia de corte con diferentes muestras de suelos inalteradas, el método a utilizarse será el ensayo de compresión axial no confinada, en el cual se utilizó un instrumento denominado Penetrómetro de bolsillo, este tiene por objeto determinar la capacidad de esfuerzo de ruptura en el plano normal, esfuerzo que servirá para calcular la cohesión del suelo y sus respectivos esfuerzos cortantes por medio de la ecuación de Coulomb. De igual forma fue utilizado el instrumento Geo Gauge H-4140 mediante el cual fueron determinados dos parámetros los cuales son: La rigidez de capa y el módulo de Young, estos serán de mucha utilidad para el cálculo de asentamientos en las diferentes muestras de suelo en función de las deformaciones cortante.



CAPÍTULO I: CAPÍTULOS INTRODUCTORIOS.

1. CAPÍTULO 1: CAPITULOS INTRODUCTORIOS.

En el presente trabajo investigativo desarrollado en el municipio de San Juan de Oriente (Ver figura 1.1), se determinaron ciertos parámetros esenciales de diseño como lo son: resistencia de corte de los suelos, esfuerzos efectivos verticales, rigidez de capa y módulo de elasticidad, etc., obteniendo así resultados muy útiles tanto para el diseño, así como también para los procesos constructivos, y aun para la correcta supervisión y mantenimiento de una obra civil, como por ejemplo el control de compactación del suelo en terreno mediante rigidez y modulo (Norma ASTM D6758), reduciendo así la variabilidad en la construcción, así como también el análisis de estabilidad de diversas obras civiles mediante la determinación correcta del esfuerzo cortante, ya que un suelo sometido a un esfuerzo cortante tiende a producir un desplazamiento de las partículas entre sí o de una parte de la masa del suelo con respecto al resto del mismo.

El municipio de San Juan de Oriente está localizado en el sector sureste del departamento de Masaya, a 44 Kilómetros de Managua, entre las coordenadas $11^{\circ} 54'$ latitud norte y $86^{\circ} 04'$ longitud oeste; su altura aproximada sobre el nivel del mar es de 495.16 metros. Posee una extensión territorial de 13.8 Km^2 siendo así el municipio más pequeño del departamento (Instituto Nicaraguense de Fomento Municipal, 2003).

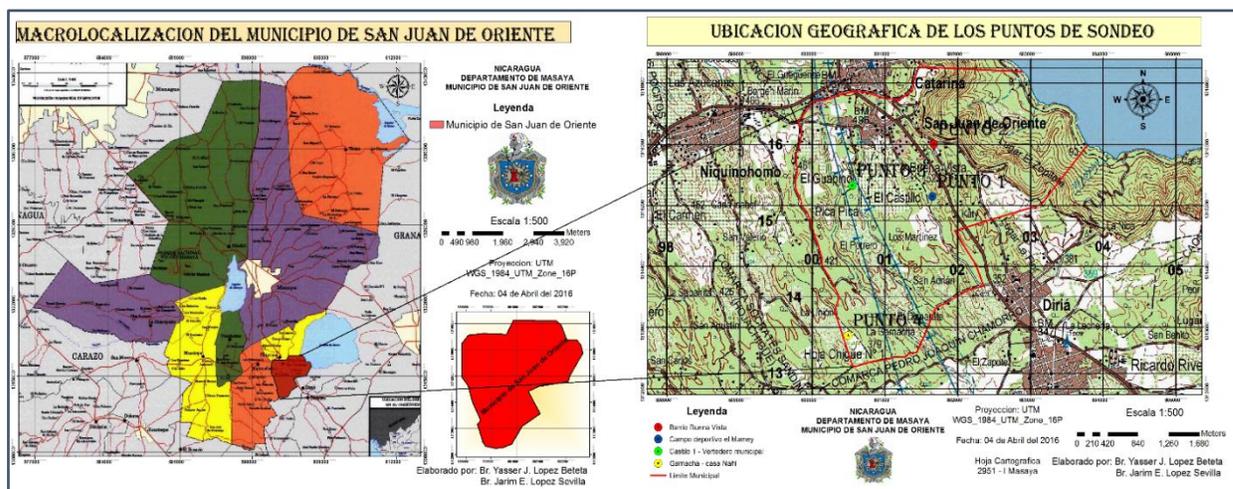


Figura 1. 1. Mapas de macro localización y micro localización del sitio en estudio.



CAPÍTULO I: CAPÍTULOS INTRODUCTORIOS.

Se tiene que tener en cuenta que al llevar a cabo un estudio de suelo se siguen una serie de procedimientos lo cual implica extraer, examinar y ensayar muestras representativas, mediante pruebas de laboratorios que determinen las características físicas y mecánicas de un determinado suelo. En lo correspondiente a la extracción de las muestras en el área de estudio se realizaron cuatro excavaciones en distintos puntos el municipio extraídas por el método de calicatas a una profundidad de 2.10 metros; posteriormente dichas muestras fueron llevadas a los laboratorios de suelos del (IGG-CIGEO), de la UNAN-Managua donde se efectuaron las pruebas de laboratorio, a su vez se clasificándose el suelo según su tipología haciendo uso de los métodos: Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), y American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO).

Este estudio consiste en la determinación de las capacidades de Resistencia de corte de los suelos, en complementación con el módulo de rigidez de capa y módulo de elasticidad con diferentes muestras de suelos inalteradas, obteniendo así en el rango de límites elásticos deformaciones por cortantes y deformaciones unitarias longitudinales, las cuales en mecánica de suelos se denomina asentamiento por elasticidad o bien por consolidación. Estos resultados son de mucha utilidad en cada obra civil que se emprenda en el municipio, ya que los suelos, al igual que otros materiales usados en la construcción, sufren deformaciones bajo el efecto de un esfuerzo aplicado sobre ellos.



1.1. Antecedentes.

Actualmente nuestra nación está teniendo un considerable desarrollo en el ámbito constructivo, llámese a estas obras horizontales, obras verticales, obras hidráulicas y sanitarias etc., lo cual nos conlleva a un mayor nivel de exigencia en lo que respecta al estudio ingenieril y buena mano de obra especializada en diversas áreas disciplinarias, la cual es en este caso el área de la Mecánica de Suelos e ingeniería de cimentaciones.

La carencia del conocimiento de la estratigrafía del suelo ha producido en numerosos casos fallas importantes en estructuras, aumento en los costos de construcción e incluso pérdidas de vidas humanas; siendo frecuentes problemas asociados a empujes, asentamientos, baja capacidad de soportes de los suelos.

Anteriormente en el municipio de San Juan de Oriente se han realizado trabajos monográficos que no precisamente son de carácter geotécnicos, pero si fue necesario la realización de pruebas de laboratorios para la determinación de características físicas y mecánicas a través de muestras extraídas del área de donde se pretende llevar a cabo este trabajo monográfico. Dichos estudios corresponden a dos tesinas siendo la primera: “Diseño de estructura de pavimentos utilizando adoquín en el municipio de San Juan de Oriente, Masaya” (Zelaya Rodriguez, 2009), posteriormente se realizó un “Estudio a nivel de perfil del proyecto reemplazo de viviendas de interés social del Bo. Buena Vista zona 4 de San Juan de Oriente, departamento de Masaya” (Calixto Rodriguez & Rodriguez Castro, 2013). Basados en ambos estudios se identificó que los suelos predominantes están conformados por materiales finos y elásticos, en los estratos superficiales son de tipo limosos y arcillas en los estratos inferiores, así como también arenas limosas. Cabe mencionar que el Instituto de Geología y Geofísica (IGG-CIGEO/UNAN-Managua), realizó un estudio para la determinación de ciertos estratos de suelos extraídos de dicho municipio, esto con el objetivo de conocer las características del barro (material arcilloso de color rojizo), utilizado para la fabricación de cerámicas precolombinas siendo esta la principal fuente de ingreso local (Gallegos, 2016).



1.2.Planteamiento del problema:

¿Con este análisis de resistencia de corte con muestras de suelos extraídas del municipio de San Juan de Oriente, se podría evaluar la condición geotécnica mediante pruebas físicas y mecánicas en el laboratorio?

1.2.1. Argumentación.

El presente documento trata de abordar una problemática existente en el municipio de San Juan de Oriente, la cual consiste en la mala calidad del subsuelo con mucha presencia de materiales finos y elásticos tales como limos y arcilla (Zelaya Rodriguez, 2009). El problema en dicho municipio radica en que previamente a la ejecución de obras civiles tanto horizontales (calles, carreteras, etc.) y verticales (viviendas, edificios de uno o más niveles etc.), no se ejecutan los diversos estudios geotécnicos para determinar parámetros que son de suma importancia al momento de diseñar una determinada construcción.

Debido a que el municipio de San Juan de Oriente cuenta con pocos estudios de carácter geotécnicos, se decidió llevar a cabo este trabajo monográfico, ya que se contará con un estudio de carácter técnico, por ende, las autoridades municipales tendrán a su disposición un documento eficiente que aportara información sobre parámetros de diseño en las cimentaciones de una obra.

Dicho estudio fue efectuado mediante el uso de instrumentos que sirven para determinar esfuerzos, y aparatos que determinan parámetros de resistencia como módulos de elasticidad y rigidez, los cuales serán de mucha utilidad para determinar los desplazamientos verticales que se presentan en distintas muestras de suelo con respecto a las deformaciones cortantes.



1.3. Justificación:

Todas las estructuras de ingeniería civil deben cimentarse sobre la superficie del terreno natural y por tal razón es de vital importancia un buen estudio de suelos donde se conozcan con exactitud todas las características físicas y mecánicas del suelo, todo esto es realizado mediante nuevos métodos y con herramientas tecnológicas que facilitan el trabajo y presentan buenos resultados.

El objetivo principal de este trabajo investigativo tendrá como finalidad llevar a cabo la determinación de las características físicas y mecánicas, y a su vez propiedades de resistencia de los suelos del municipio de San Juan de Oriente, el cual presenta una característica esencial para este análisis siendo esta una tipología de suelos blandos (Calixto Rodríguez & Rodríguez Castro, 2013), lo cual nos permitirá obtener óptimos resultados frente a esfuerzos normales y esfuerzos cortantes, obteniendo así el ángulo de fricción interna de cada espécimen y a su vez las propiedades cohesivas.

Es importante mencionar que el área en estudio se encuentra expuesta a peligros sísmicos muy altos, debido a la existencia de 5 fallas geológicas activas que atraviesan el departamento de Masaya, las cuales pueden llegar a generar sismos de hasta siete o más grados en la escala de Richter (SINAPRED. Plan de respuesta departamental con enfoque de gestión del riesgo, departamento de Masaya, región IV. Noviembre del 2004), además también de estar ubicada cerca de la laguna de Apoyo, la cual representa una amenaza sísmica latente.

El uso de instrumentos que determinan esfuerzos, sumado con equipos que miden dinámicamente las propiedades de diseño del suelo, facilitará el análisis de esfuerzo-deformación de cada espécimen tomados como muestras inalteradas de diversos puntos del sitio en estudio, lo cual servirá para determinar parámetros esenciales de diseño, en este caso en particular asentamientos y deformaciones por cortantes ya sea en obras horizontales u obras verticales, como por ejemplo la construcción de un mercado de artesanías, mejoras en un 30% de redes viales internas que se encuentran en mal estado, reconstrucción del



CAPÍTULO I: CAPÍTULOS INTRODUCTORIOS.

centro salud, construcción de un centro recreativo en el casco urbano del municipio, construcción de un parque municipal, etc.

Además, este estudio servirá como documento técnico constructivo de apoyo a futuras obras que se vayan a emprender en el municipio, ya que según antecedentes, el departamento de planificación de proyectos de la alcaldía municipal de dicho municipio no cuenta con muchos estudios de suelo.



1.4. Alcances y limitaciones.

A continuación presentamos las restricciones a las que estuvo sujeta la realización de este estudio:

- El número total de pozos a cielo abierto fue de 4, limitándose así a una perforación por comunidad, cada una a una profundidad de 2.10 metros. Esto es debido a la asignación directa de la georreferenciación de los puntos por parte de la alcaldía municipal y la ausencia de personal para el proceso de excavación, exploración y manipulación tanto de las muestras alteradas así de como las muestras inalteradas.
- Para la realización del ensayo de análisis granulométrico por medio del hidrómetro, previamente se tuvo que clasificar todas las muestras alteradas extraídas de cada estrato de los pozos a cielo abierto según su índice de plasticidad y distribución granulométrica (método mecánico), usando distintos sistemas de clasificación de suelos, esto se hizo con el objetivo de ahorrar agente dispersante (hexa-metafosfato de sodio: NaPO_3).
- El ángulo de fricción interna de las muestras inalteradas es el mismo con respecto a su respectivo tipo de suelo, esto es debido a la falta de mantenimiento de algunos equipos que se encuentran en el laboratorio del IGG-CIGEO/UNAN-Managua, entre estos equipos figuran principalmente: la máquina de corte directo y residual, máquina de compresión y cámara triaxial. Pero el ángulo de fricción interna no se debería considerar constante ya que este depende de la uniformidad de las partículas del suelo, del tamaño y forma de los granos.
- El ensayo de compresión inconfiada usando un penetrómetro de bolsillo fue utilizado para calcular la cohesión de cada muestra inalterada al existir la falta de mantenimiento de algunos equipos que la determinan con resultados más confiables tales como el aparato triaxial y la máquina de corte directo y residual. Cabe mencionar que el ensayo de compresión inconfiada no proporciona un valor bastante confiable



de la resistencia al corte ya que el efecto de restricción lateral provista por la masa de suelo sobre la muestra se pierde cuando la muestra es removida del terreno, además de que las condiciones internas del suelo no pueden controlarse.



1.5.Objetivos.

1.5.1. Objetivo general:

- ✚ Determinar la resistencia de corte de los suelos de las comarcas: Buena vista, El Castillo N°1, Garnacha y Calle Campo Deportivo, municipio de San Juan de Oriente, departamento de Masaya

1.5.2. Objetivos específicos:

- Ejecutar muestreos de suelos mediante Calicatas para su posterior descripción estratigráfica.
- Determinar las características físicas y mecánicas de los suelos del sitio en estudio para su posterior clasificación haciendo uso de los métodos: Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (USCS) y American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO).
- Calcular la resistencia de corte de cada muestra inalterada de suelo.
- Brindar recomendaciones técnicas para el desarrollo constructivo de obras verticales en el municipio de San Juan de Oriente.



2. CAPÍTULO 2: DESCRIPCIÓN DEL SITIO.

2.1. Información general del municipio.

2.1.1. Localización.

El municipio de San Juan de Oriente se encuentra en el departamento de Masaya, está ubicado entre las coordenadas 11°54' latitud norte y 86°04' longitud oeste a 45 Km de la ciudad de Managua, y su altura aproximada sobre el nivel del mar es de 495.16 msnm, además posee como extensión territorial una área de 13.8 Km². Este municipio limita al norte con el municipio de Catarina, al sur con el municipio de Diriá, al este con la Laguna de Apoyo y al oeste con el municipio de Niquinohomo (Instituto Nicaraguense de Fomento Municipal, 2003).

2.1.2. Localidades.

El número de localidades en el municipio de San Juan de Oriente se subdividen en dos tipos de localidades: localidades urbanas y localidades rurales. Entre las localidades urbanas se encuentra la zona 1, zona 2, y zona 3, y entre las localidades rurales se ubican las comunidades: El Castillo, El Tempisque y Buena Vista (Instituto Nicaraguense de Fomento Municipal, 2003).

A continuación se muestra la georreferenciación de cada punto de sondeo (ver figura 2.1), en la cual se muestra desde una perspectiva macro localizada el departamento de Masaya en el mapa de Nicaragua, hasta una vista micro localizada de cada punto, donde se señalan las ubicaciones de cada calicata con respecto al municipio de San Juan de Oriente.

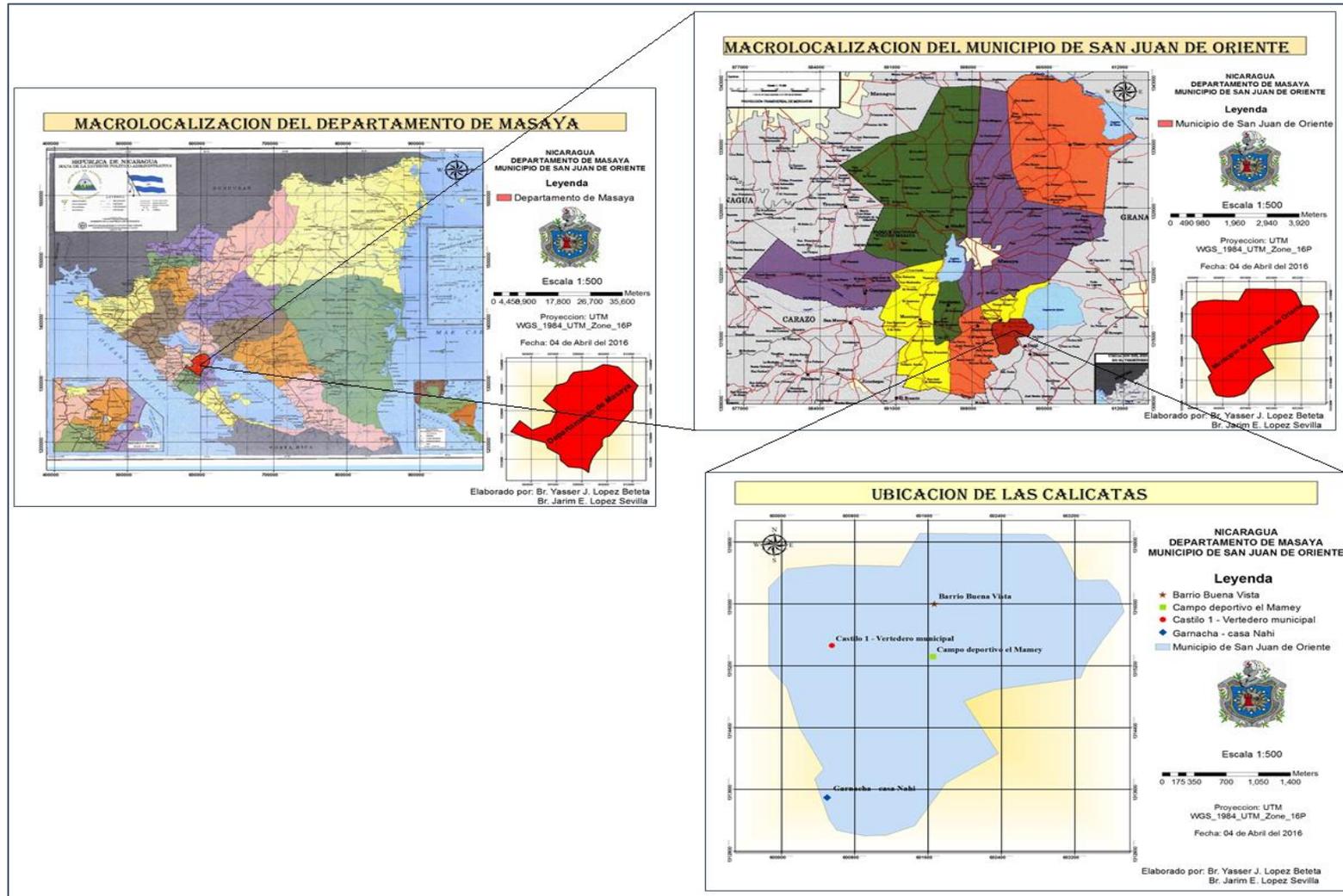


Figura 2. 1. Georreferenciación de los puntos de sondeos.



2.1.3. Aspectos físicos naturales.

2.1.3.1. Geomorfología.

El municipio de San Juan de Oriente se encuentra en la zona sur del departamento, localizada sobre la formación geológica Las Sierras, con relieve abrupto, surcado por arroyos que drenan hacia la laguna de Masaya y su punto culminante es el volcán Masaya (Aragon, y otros, 2009).

2.1.3.2. Topografía.

Con pendientes de 4% a 15%. Presenta un relieve muy variable y con fuertes elevaciones, con una red de arroyos que drenan hacia la laguna de Masaya, lago Cocibolca y hacia el municipio de Ticuantepe (Aragon, y otros, 2009).

2.1.3.3. Suelos.

Entre las texturas superficiales sobresalen principalmente suelos arenosos con grandes cantidades de limo hasta suelos arcillosos, con ausencia de estructura de roca por lo menos en la mitad del volumen. El subsuelo varía entre suelos limos arcillosos y limos arenosos. El contenido de materia orgánica es variado (Aragon, y otros, 2009).

2.1.3.4. Amenazas geológicas.

- **Peligro sísmico:**

De acuerdo al Estudio Geológico y Reconocimiento de la Amenaza Geológica realizado por INETER, la zona sur del departamento, en la cual se ubica el municipio de San Juan de Oriente, está expuesta a peligro sísmico muy alto y a peligro volcánico bajo, ya que se asienta sobre la Caldera Carazo. Esto significa que debajo de la superficie del municipio, existe un sistema muy inestable de bloques tectónicos, el cual está todavía en etapa de desarrollo y presenta fallas geológicas.



CAPÍTULO 2: DESCRIPCIÓN DEL SITIO.

El peligro sísmico es causado por la actividad en los márgenes de las calderas del sistema volcánico Masaya, pero además existen otros peligros generados por otros procesos como erosión superficial, erosión subterránea, la cual genera cavernas bajo el terreno, provocando con frecuencia el hundimiento del mismo, en este caso las edificaciones sobre estos suelos pueden presentar hundimientos por fisuras e inestabilidad de sus cimientos, además existen otras amenazas tales como: flujos de lodo, avalanchas de predisposición tectónica y sísmica, deslizamientos, inundaciones y la acumulación de nuevos conos fluviales (Aragon, y otros, 2009).

- **Peligro volcánico:**

- a) Sistema volcánico Masaya: Presenta un alto potencial de amenaza volcánica de tipo explosiva. Una fuerte actividad afectaría el territorio urbano y rural del municipio.
- b) Estrato Volcán Apoyo: Frecuentes enjambres sísmicos someros se producen en los bordes de su caldera y son una potencial amenaza volcánica.



3. CAPÍTULO 3: MARCO TEÓRICO.

3.1. Obtención de muestras de suelos.

3.1.1. Tipos de sondeos.

Los tipos principales de sondeos que se usan en Mecánica de Suelos para fines de muestreos y conocimiento del subsuelo, en general, son los siguientes:

3.1.1.1. Métodos de exploración de carácter preliminar.

- a) Pozos a cielo abierto, con muestreo alterado o inalterado: Este método es el que presenta resultados más satisfactorios en lo que respecta a la evaluación de las condiciones del subsuelo, ya que consiste en excavar un pozo de dimensiones suficientes para que un técnico pueda directamente bajar y examinar los diferentes estratos del suelo en su estado natural, así como darse cuenta de las condiciones precisas referentes al contenido de agua en los suelos.

Desgraciadamente este tipo de perforación de suelos no puede llevarse a grandes profundidades a causa de la dificultad de controlar el flujo de agua bajo el nivel freático. En este tipo de pozos las muestras alteradas son simplemente porciones de suelo que se protegerán contra pérdidas de humedad introduciéndolas en bolsas con su respectiva identificación de muestreo. Para obtener muestras inalteradas, el caso más simple corresponde al de cortar un determinado trozo de suelo del tamaño deseado (normalmente de 0.30 m * 0.30 m * 0.30 m), cubriéndolo con parafina para evitar pérdidas de humedad y empacándolo debidamente para su envío a laboratorio.

- b) Perforaciones con posteadora, barrenos helicoidales o métodos similares.
- c) Métodos de lavado.
- d) Métodos de penetración estándar.
- e) Método de penetración cónica.
- f) Perforaciones en boleos y gravas (con barretones, etc.).



3.1.1.2. Métodos de sondeo definitivo.

- a) Pozos a cielo abierto con muestreo inalterado.
- b) Métodos rotatorios para roca.

3.1.1.3. Métodos geofísicos.

- a) Sísmico.
- b) De resistencia eléctrica.
- c) Magnético o gravimétrico.

3.1.2. Profundidad de perforaciones.

La profundidad hasta la cual debe investigarse un suelo puede estar basada en el tipo de suelo encontrado y en el tamaño y peso de la estructura que se va a construir, considerando que los esfuerzos desarrollados en el suelo dependen de la carga distribuida en toda el área cargada, además de las cargas de las zapatas individuales.

Llegar a profundidades de 1.5 veces la menor dimensión del área cargada es muy recomendable en el caso de estructuras muy pesadas como silos y edificios de muchos pisos. En obras comunes de un nivel, llegar a 3.5 m, para dos niveles, llegar a 6.0 m, para tres niveles llegar a 10.0 m, para cuatro niveles, llegar a 15.0 m, y para cinco niveles o más, llegar a 25 m (Villalaz, 2004).

3.1.3. Perfil de suelos.

Cualquiera que sea el tipo de perforación que se ejecute, a medida que se va profundizando en ella se deben anotar los espesores de los distintos estratos atravesados, indicando algunas características granulométricas a simple visualización (identificar gravas, arenas, limos, arcillas o mezclas de los mismos, uniformidad de granos, etc), color, olor y textura de los granos. Con estos datos y los de las pruebas de laboratorios se hace un perfil de suelos (Ver figura 3.1).

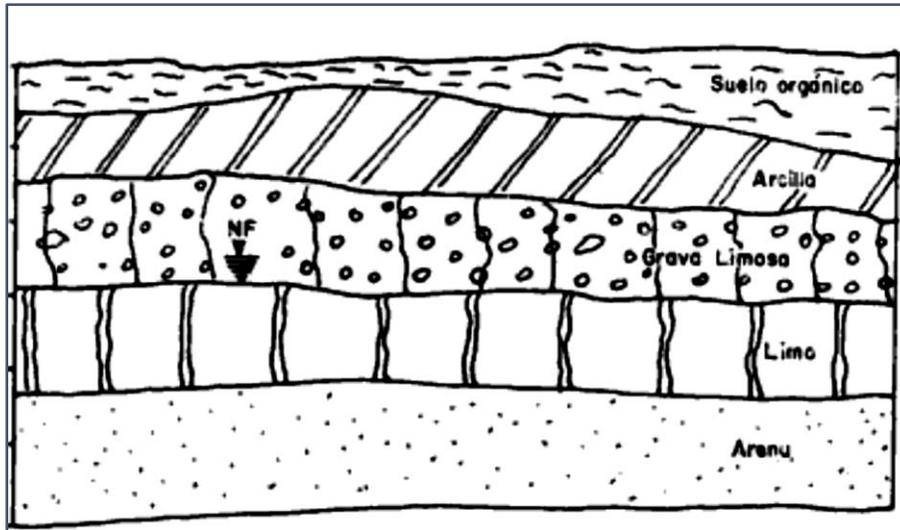


Figura 3. 1. Perfil estratigráfico de suelos (Villalaz, 2004).

3.1.4. Secado de muestras alteradas.

Cuando una muestra alterada llega al laboratorio con humedad que permita su fácil disgregación, no es necesario someterla a un proceso de secado, en caso contrario, la muestra debe ser secada ya sea extendiéndola al sol sobre una superficie limpia, o bien colocándola en una bandeja dentro de un horno a una temperatura de aproximadamente 50°C.

3.1.5. Disgregación de muestras alteradas.

El objeto de la disgregación de las muestras alteradas es llevarlas a un estado semejante al que van a presentar en la obra durante el proceso de construcción. Para disgregar un material primeramente se tamiza por la malla N°4 y el material retenido se coloca en una bandeja y se maceá, dejando caer un mazo de madera (en su base con una cubierta de cuero, 9.5 cm por lado, 15 cm de altura, y con un peso de aproximadamente 1 Kg) sobre el material en forma vertical y desde una altura de aproximadamente 20 cm. Disgregada la muestra retenida en la malla N°4, se mezcla con la que pasó dicha malla y se somete al proceso de cuarteo (Villalaz, 2004).



3.1.6. Proceso de cuarteo de muestras alteradas.

Con la muestra disgregada como se ha indicado anteriormente, se forma un cono colocando con una pala el material en el vertice de este y permitiendo que se acomode. Con la misma pala que debe ser rectangular, se forma un cono truncado de unos 15 cm de altura y se divide en cuadrantes por medio de una regla, y se mezcla el material de dos cuadrantes opuestos, repitiendo la operación hasta obtener la cantidad deseada de muestras para las pruebas de laboratorio que se realizaran (Villalaz, 2004).

3.2. Propiedades fisico-mecanicas de los suelos.

3.2.1. Contenido de agua en un suelo.

Se conoce como contenido de agua o humedad de un suelo, a la relación entre el peso del agua contenida en el mismo y el peso de su fase sólida (Ver ecuación 3.1). Varía teóricamente de 0 a ∞ . En la naturaleza la humedad de los suelos varía entre límites muy amplios. Suele presentarse como un porcentaje:

Ecuación 3. 1. Contenido de humedad en un suelo.

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

Donde:

w (%): Porcentaje de humedad en un suelo.

Ww: Peso del agua en la muestra.

Ws: Peso de los sólidos en el suelo.

3.2.2. Peso específico relativo de los sólidos (Gravedad específica).

Es la relación entre el peso específico de los sólidos y el peso específico del agua (Ver ecuación 3.2) a 4°C (igual a 1000 Kg/m³ o 1 gr/cm³), en la mayoría de suelos este valor varía



CAPÍTULO 3: MARCO TEORICO

entre 2.6 y 2.9. Esta relación se obtiene mediante la siguiente ecuación tomando en cuenta que este peso específico relativo es adimensional:

Ecuación 3. 2. Peso específico relativo de los sólidos de un suelo.

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w}; \gamma_s = \frac{W_s}{V_s}$$

Donde:

G_s : Peso específico relativo de los sólidos.

γ_s : Peso específico de los sólidos (gr/cm³).

γ_w : Peso específico del agua destilada a 4°C (gr/cm³).

W_s : Peso seco de un suelo (gr).

V_s : Volumen de los sólidos de un suelo (cm³).

3.2.3. Granulometría.

3.2.3.1. Análisis mecánico o método por tamizado.

Este análisis consiste en obtener las fracciones correspondientes a los tamaños mayores del suelo; generalmente se llega así hasta el tamaño correspondiente a la malla No.200 (0.074 mm). La muestra de suelo se hace pasar sucesivamente a través de juego de tamices de aberturas descendentes hasta la malla No.200; los retenidos en cada malla se pesan y el porcentaje que representan respecto al peso de la muestra total se suma a los porcentajes retenidos en todas las mallas de mayor tamaño; el complemento a 100% de esa cantidad da el porcentaje de suelo que es menor que el tamaño representado por la malla en cuestión. Así puede tenerse un punto de la curva acumulativa correspondiendo a cada abertura (Juarez Badillo & Rico Rodriguez, 2005).

Al haber concluido con este proceso se traza la curva de composición granulométrica del material (ver figura 3.2) que tiene por abscisas, a escalas logarítmicas, las aberturas de las mallas y por ordenadas los porcentajes del material que pasa por dichas mallas, a escalas aritméticas.

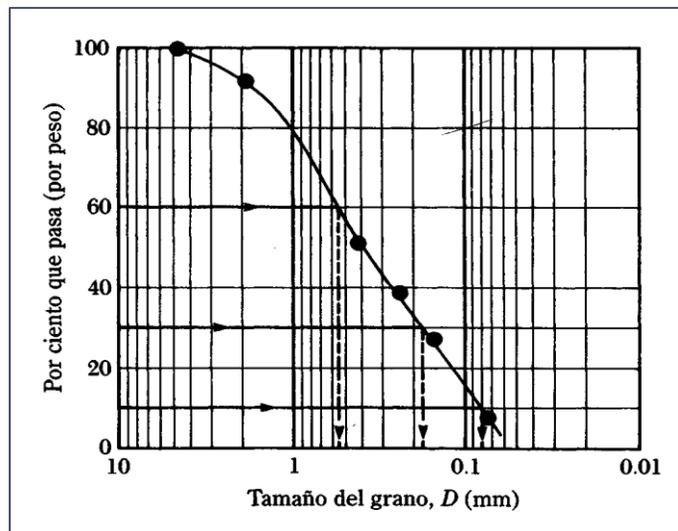


Figura 3. 2. Curva de composición granulométrica de partículas (Das, 1999).

La distribución granulométrica de un suelo sirve para evaluar su comportamiento mecánico, para el análisis de susceptibilidad a densificarse y a perder resistencia cuando se someten a cargas dinámicas, para el análisis del posible agrietamiento de terraplenes, para encontrar el porcentaje de partículas de arcilla de un suelo que se correlaciona a su vez con la actividad de este, para evaluar la tendencia a la tubificación, para diseños de filtros, etc. (Bowles, 1980)

➤ **Diámetro efectivo y coeficiente de uniformidad.**

El diámetro efectivo, D_{10} , es el tamaño de partículas que corresponde a $P=10\%$ en la curva granulométrica, de modo que el 10% de las partículas son más finas que D_{10} y el 90% más gruesas (Villalaz, 2004). El coeficiente de uniformidad C_u se obtiene mediante la siguiente expresión:

Ecuación 3. 3. Coeficiente de Uniformidad

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

Donde:

C_u : Coeficiente de uniformidad de las partículas.



D_{60} : Tamaño tal, que el 60%, en peso, del suelo, sea igual o menor (mm).

D_{10} : Diámetro efectivo; tamaño tal que sea igual o mayor que el 10%, en peso, del suelo (mm).

Otro valor numérico que ayuda a conocer las condiciones granulométricas de un suelo es el coeficiente de curvatura (Ver ecuación 3.4), C_c , el cual es un dato complementario para definir la graduación de las partículas, y este se obtiene mediante la siguiente ecuación:

Ecuación 3. 4. Coeficiente de curvatura.

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

Donde:

D_{60} : Tamaño tal, que el 60%, en peso, del suelo, sea igual o menor (mm).

D_{10} : Diámetro efectivo; tamaño tal que sea igual o mayor que el 10%, en peso, del suelo (mm).

D_{30} : Tamaño tal, que el 30%, en peso, del suelo, sea igual o mayor (mm).

Un material bien graduado debe cumplir con la condición de que el coeficiente de uniformidad sea mayor de 4 para gravas y mayor de 6 para arenas y que el coeficiente de curvatura este comprendido entre 1 y 3.

3.2.3.2. Granulometría por sedimentación o método del hidrómetro.

Cuando se quiere conocer la susceptibilidad de los suelos finos a la acción de las heladas, al igual que cuando se quiere emplear algún tipo de clasificación de suelos utilizando el diámetro de partículas, se requiere un análisis granulométrico por sedimentación (Villalaz, 2004). Este método es ampliamente utilizado para obtener un estimado de la distribución granulométrica de los suelos cuyas partículas se encuentran desde el tamiz N°200 (0.075 mm) hasta alrededor de 0.001 mm.



CAPÍTULO 3: MARCO TEORICO

El principal objetivo del análisis del hidrómetro es obtener el porcentaje de arcilla (porcentaje más fino que 0.002 mm) ya que la curva de distribución granulométrica cuando más del 12% del material pasa a través del tamiz N°200, no es utilizada como criterio dentro de ningún sistema de clasificación de suelos y no existe ningún tipo de conducta particular del material que dependa intrínsecamente de la forma de dicha curva (Bowles, 1980).

El hidrómetro más usado comúnmente es el 152H y está calibrado para leer gravedad de suelos de un valor de $G_s=2.65$ en $1,000 \text{ cm}^3$ de suspensión siempre que no haya más de 60 g de suelo en la solución.

Los procedimientos que se van a seguir para la determinación de los tamaños de partículas menores a 0.074 mm están basados en la ley de Stokes, que da la velocidad de sedimentación de partículas sólidas esféricas en un líquido, la cual está dada mediante la siguiente ecuación (Villalaz, 2004):

Ecuación 3. 5. Velocidad de sedimentación de partículas.

$$v = \frac{(2 \times g \times r^2)(D_a - D_w)}{9 \times \rho} = \frac{H}{t}$$

Donde:

v: velocidad de caída de las partículas (cm/seg).

g: Aceleración de la gravedad (cm/s^2).

r: Radio de la esfera (cm).

D_a : Densidad absoluta del material (g/cm^3).

D_w : Densidad absoluta del agua (g/cm^3).

ρ : Viscosidad absoluta del agua.

H: Altura de caída de la esfera (cm).

t: Tiempo transcurrido (seg).



De la ecuación anterior, si r se expresa en función de un diámetro de partícula en mm, resulta:

Ecuación 3. 6. Diámetro de partículas según Stokes.

$$D = \sqrt{\frac{1,800\rho v}{D_a - D_w}}$$

Las partículas de suelo con diámetros mayores que los calculados con la ecuación (3.6), se habrán asentado más allá de la zona de medición. Así con las lecturas tomadas en tiempos diferentes en el hidrómetro, el porcentaje de suelo más fino que un diámetro dado D puede prepararse una gráfica de distribución granulométrica. Los procesos de tamizado y sedimentación pueden combinarse para un suelo que tenga granos finos y gruesos.

3.2.4. Plasticidad de los suelos.

La plasticidad es la propiedad que presentan los suelos de poder deformarse, hasta cierto límite sin romperse. Por medio de ella se mide el comportamiento de los suelos en todas las épocas. Para conocer la plasticidad de un suelo se hace uso de los límites de Atterberg, quien por medio de ellos separo los cuatro estados de consistencia de los suelos (ver figura 3.3).

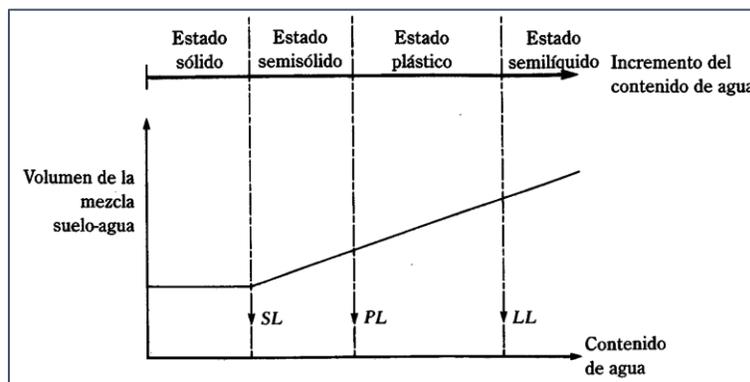


Figura 3. 3. Estados de consistencia de los suelos establecidos por Atterberg (Das, 1999).

Los mencionados límites son: Limite líquido (LL), limite plástico (PL), y límite de contracción (SL), y mediante ellos se puede dar una idea del tipo de suelo en estudio.



3.2.4.1. *Limite líquido.*

El límite líquido de un suelo es determinado por medio de la copa de Casagrande (Designación de prueba D-4318 de la ASTM), se define como el contenido de humedad expresado en porcentaje con respecto al peso seco de la muestra, con el cual el suelo cambia del estado líquido al plástico. Con los contenidos de agua obtenidos mediante las pruebas de laboratorio, se grafica los parámetros número de golpes (N) versus porcentaje de humedad (%w) en escala semilogarítmica y se determina el contenido de agua correspondiente a 25 impactos, obteniendo así una línea recta llamada curva de fluidez cuya ecuación es:

Ecuación 3. 7. Contenido de agua en función de factores de fluidez.

$$w = F_w \log N + C$$

Donde:

w: Contenido de agua (%).

F_w : Índice de fluidez que es igual a la variación de w en un ciclo de escala logarítmica.

N: Numero de golpes.

C: Constante igual a la ordenada correspondiente a 1 golpe.

De acuerdo con esta definición, los suelos plásticos tienen en el límite líquido una resistencia muy pequeña al esfuerzo de corte, pero definida según Atterberg es de 25 g/cm² (Villalaz, 2004). El límite líquido se calcula mediante la siguiente ecuación:

Ecuación 3. 8. Limite líquido de un suelo.

$$LL = \frac{W_w}{W_s} \times 100 = \frac{W_T - W_s}{W_s}$$

Donde:

LL: Limite liquido de suelo (%).



W_w : Peso del agua de una muestra de suelo (gr).

W_s : Peso seco de una muestra de suelo (gr).

W_T : Peso húmedo de una muestra de suelo (gr).

3.2.4.2. *Limite plástico.*

Se define como el contenido de humedad, expresado en porcentaje con respecto al peso seco de la muestra secada en el horno (Ver ecuación 3.9), para el cual los suelos cohesivos pasan de un estado semisólido a un estado plástico. Esto sucede al definirse un determinado contenido de agua con el que se rompe en fragmentos de 1.0 cm, un rollo de 0.32 cm (1/8") de diámetro, formado con un suelo al rodarlo con la palma de la mano sobre una superficie plana.

El límite plástico se determina de la siguiente manera:

Ecuación 3. 9. Limite plástico de un suelo.

$$LP = \frac{W_w}{W_s} \times 100 = \frac{W_T - W_s}{W_s}$$

Donde:

LP: Limite plástico de suelo (%).

W_w : Peso del agua contenida en filamentos secos (gr).

W_s : Peso de los trocitos de filamentos secos de una muestra de suelo (gr).

W_T : Peso de los trocitos de filamentos húmedos en gramos (gr).

El limite plástico es muy afectado por el contenido orgánico del suelo, ya que eleva su valor sin aumentar simultáneamente el límite líquido. Por tal razón los suelos orgánicos tienen bajo índice plástico y límites líquidos altos (Villalaz, 2004).



3.2.4.3. Índice de plasticidad.

Se denomina índice de plasticidad o índice plástico a la diferencia numérica entre los límites líquido y plástico (Ver ecuación 3.10), e indica el margen de humedades dentro del cual se encuentra en estado plástico tal como lo definen los ensayos de laboratorio (Villalaz, 2004).

Ecuación 3. 10. Índice de plasticidad de los suelos.

$$IP = LL - LP$$

Tanto el límite líquido como el límite plástico dependen de la cantidad y el tipo de arcilla del suelo, aunque como ya se había mencionado anteriormente el límite plástico generalmente solo depende de la cantidad de arcilla presente en el suelo.

Además cabe mencionar que estudios realizados (Flores y Romo, 2005), entre módulos de rigidez, esfuerzos de consolidación e índice de plasticidad han demostrado que al incrementarse el índice de plasticidad no solamente se amplía el intervalo de comportamiento elástico del suelo, sino que provoca que el módulo de rigidez disminuya significativamente (Juarez Badillo & Rico Rodriguez, 2005).

3.2.5. Compactación de los suelos.

Se denomina compactación al proceso de aumento rápido del peso volumétrico de un suelo, mediante la aplicación de cargas transitorias de corta duración, reduciendo el contenido de vacíos de aire del suelo. La compactación permite aumentar la resistencia y reducir la deformabilidad, permeabilidad y la susceptibilidad a la erosión de los suelos por el efecto del agua.



Las pruebas de compactación en laboratorio tienen dos finalidades, la primera consiste en disponer de muestras compactadas teóricamente con las condiciones de campo investigando así sus propiedades mecánicas e hidráulicas, con el fin de evaluar en forma confiable la estabilidad de terraplenes y obras hidráulicas, la segunda consiste en controlar la efectividad de las técnicas y equipo de compactación en campo (Bowles, 1980).

3.2.5.1. Prueba de Proctor.

Se refiere a la determinación del peso por unidad de volumen de un suelo que ha sido compactado por un procedimiento definido para diferentes contenidos de humedad (Ver ecuación 3.11). Esta prueba tiene por objeto principal obtener el peso volumétrico seco máximo que puede alcanzar el material, así como la humedad óptima a la cual deberá hacerse la compactación.

El peso volumétrico húmedo para cada humedad se calcula mediante la siguiente ecuación:

Ecuación 3. 11. Peso volumétrico húmedo.

$$\gamma_h = \frac{P_h}{V_t}$$

Donde:

γ_h : Peso volumétrico húmedo (gr/cm^3).

P_h : Peso del material húmedo compactado en el molde (gramos).

V_t : Volumen del molde (cm^3).

Los contenidos de humedad se calculan mediante la ecuación:

Ecuación 3. 12. Contenido de humedad de un suelo.

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



CAPÍTULO 3: MARCO TEORICO

El peso volumétrico seco para cada peso volumétrico húmedo y su correspondiente humedad se calcula por la ecuación:

Ecuación 3. 13. Peso volumétrico seco.

$$\gamma_s = \frac{\gamma_h}{1 + \frac{w}{100}}$$

Donde:

γ_s : Peso volumétrico seco (gr/cm^3).

γ_h : Peso volumétrico húmedo (gr/cm^3).

w: Contenido de humedad (%).

Los pesos volumétricos secos obtenidos y las humedades correspondientes se utilizan para trazar la curva peso volumétrico seco-humedad (ver figura 3.4), marcando el eje de las abscisas los contenidos de humedad. En la misma grafica en que se traza la curva de peso volumétrico seco-humedad debe dibujarse la Curva de Saturación Teórica, llamada también Curva de cero vacíos (ver figura 3.4). La curva de cero vacíos representa la humedad para cualquier peso volumétrico, que sería necesaria para que todos los vacíos que dejan si las partículas sólidas estuvieran llenas de agua (Villalaz, 2004).

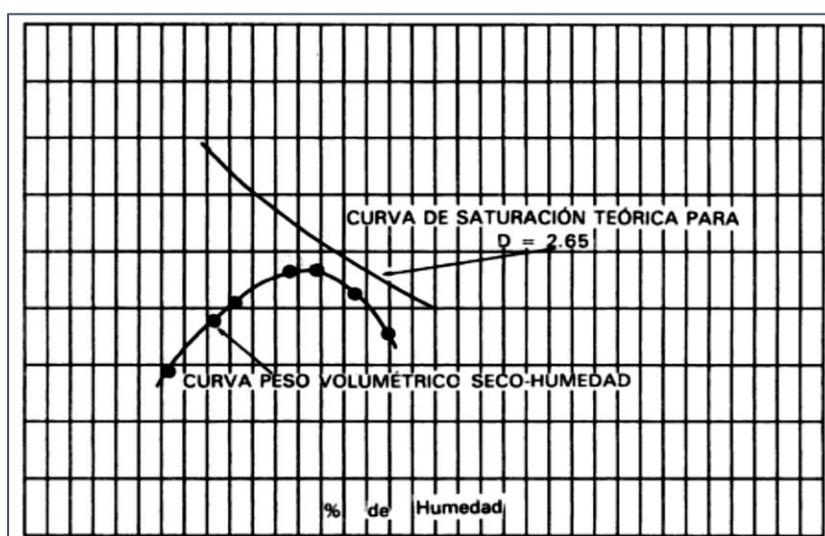


Figura 3. 4. Curva de compactación y curva de cero vacíos de un suelo (Villalaz, 2004).



CAPÍTULO 3: MARCO TEORICO

El peso volumétrico seco correspondiente a la curva de cero vacíos para una humedad determinada se calcula mediante la siguiente ecuación:

Ecuación 3. 14. Peso volumétrico seco de saturación teórica.

$$\gamma_{scs} = \frac{100D_a}{100+wD_r}$$

Donde:

γ_{scs} : Peso volumétrico seco de saturación teórica (kg/cm³).

Da: Densidad absoluta del material que pasa por la malla No.40 (kg/cm³).

Dr: Densidad relativa del material que pasa por la malla No.40 (kg/cm³).

La curva de saturación teórica tiene por objeto comprobar los resultados del ensayo de compactación, ya que dicha curva nunca debe interceptarse con la curva de compactación, dado que es imposible en la práctica llenar totalmente con agua los huecos que dejan las partículas del suelo compactado.

3.2.6. Sistemas de clasificación de suelos.

3.2.6.1. Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (U.S.C.S).

Como puede observarse en la tabla de clasificación de suelo de la U.S.C.S (ver tabla 3.1), los suelos de partículas gruesas y los suelos de partículas finas se distinguen mediante el cribado del material por el tamiz No.200. Los suelos gruesos corresponden a los retenidos en dicho tamiz y los finos a los que lo pasan, y así un suelo se considera grueso si más del 50% de las partículas del mismo son retenidas en el tamiz No.200, y fino si más del 50% de sus partículas son menores que dicho tamiz.

Los suelos se designan por símbolos de grupos y estos constan de un prefijo y un sufijo. Los prefijos son las iniciales de los nombres ingleses de los seis principales tipos de suelo: Grava (G), Arena (S), Limo (M), Arcilla (C), Suelos orgánicos de granos finos y turba; mientras que los sufijos indican subdivisiones en dichos grupos. En los suelos gruesos se tienen las gravas (G), y las Arenas (S) de tal modo que un suelo pertenece al grupo de las Gravas (G)



CAPÍTULO 3: MARCO TEORICO

si más de la mitad de la fracción gruesa es retenida por el tamiz No.4 y pertenece al grupo de las Arenas (S) en caso contrario (Villalaz, 2004).

Tanto las gravas como las arenas se dividen en cuatro grupos:

- GW: Grava bien graduada.
- GP: Grava mal graduada.
- GM: Grava limosa.
- GC: Grava arcillosa.
- SW: Arena bien graduada.
- SP: Arena mal graduada.
- SM: Arena limosa.
- SC: Arena arcillosa.

Los límites líquido y plástico se ejecutan sobre el material correspondiente a la fracción menor del tamiz No.40 de todos los suelos, incluyendo gravas, arenas y suelos finos. Estos límites se utilizan con la carta de plasticidad del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (U.S.C.S) para determinar el sufijo M o C en el caso de suelos gruesos y el prefijo M, O o C para los suelos finos, dependiendo de la localización de las coordenadas de plasticidad del suelo dentro de la carta.

Los suelos finos para el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (U.S.C.S) se subdividen en tres grupos para los limos y arcillas con límite líquido menor del 50%, en tres grupos para los limos y arcillas con límite líquido mayor del 50% y en un grupo para los suelos finos altamente orgánicos (Villalaz, 2004).

Si el límite líquido del suelo es menor del 50%, es decir, si el suelo es de compresibilidad baja o media, se añade el sufijo L a los prefijos M, C y O, obteniéndose de ese modo los símbolos ML (Limo inorgánico de baja compresibilidad), CL (Arcillas inorgánicas de baja compresibilidad) y OL (Limos o Arcillas orgánicas de baja compresibilidad). Si el límite líquido es mayor del 50%, es decir, si el suelo es de compresibilidad alta, se añade el sufijo H a los prefijos M, C y O, obteniéndose así los símbolos MH (Limo inorgánico de alta compresibilidad), CH (Arcillas inorgánicas de alta compresibilidad), y OH (Limos o Arcillas



CAPÍTULO 3: MARCO TEORICO

orgánicas de alta compresibilidad). Estos seis grupos de suelos finos se identifican en la carta de plasticidad por medio de la línea A. Los suelos finos altamente orgánicos se designan con el símbolo Pt (Villalaz, 2004).

Tabla 3. 1. Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (U.S.C.S) (Rochs, 2007).

SISTEMA DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS UNIFICADO "U.S.C.S."						
DIVISIONES PRINCIPALES	Símbolos del grupo	NOMBRES TÍPICOS	IDENTIFICACION DE LABORATORIO			
SUELOS DE GRANO GRUESO	GRAVAS	Gravas limpias	GW	Gravas, bien graduadas, mezclas grava-arena, pocos finos o sin finos.	$Cu = D_{60}/D_{10} > 4$ $Cc = (D_{30})^2 / D_{10} \times D_{60}$ entre 1 y 3 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:	
		(sin o con pocos finos)	GP	Gravas mal graduadas, mezclas grava-arena, pocos finos o sin finos.		
	Más de la mitad de la fracción gruesa es retenida por el tamiz número 4 (4.76 mm)	Gravas con finos	GM	Gravas limosas, mezclas grava-arena-limo.	$Cu = D_{60}/D_{10} > 6$ $Cc = (D_{30})^2 / D_{10} \times D_{60}$ entre 1 y 3 Cuando no se cumplen simultáneamente las condiciones para SW.	
			GC	Gravas arcillosas, mezclas grava-arena-arcilla.		
		ARENAS	SW	Arenas bien graduadas, arenas con grava, pocos finos o sin finos.		Límites de Atterberg debajo de la línea A o IP < 4. Encima de línea A con IP entre 4 y 7 son casos que requieren doble símbolo.
			SP	Arenas mal graduadas, arenas con grava, pocos finos o sin finos.		
	Más de la mitad del material retenido en el tamiz número 200	Más de la mitad de la fracción gruesa pasa por el tamiz número 4 (4.76 mm)	Arenas con finos	SM	Arenas limosas, mezclas de arena y limo.	Límites de Atterberg sobre la línea A con IP > 7. son casos intermedios que precisan de símbolo doble.
			(apreciable cantidad de finos)	SC	Arenas arcillosas, mezclas arena-arcilla.	
	SUELOS DE GRANO FINO	Limos y arcillas:		ML	Limos inorgánicos y arenas muy finas, limos limpos, arenas finas, limos o arcillosas, o limos arcillosos con ligera plasticidad.	
		Límite líquido menor de 50	Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas.	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:			MH	Limos inorgánicos, suelos arenosos finos o limosos con mica o diatomeas, limos elásticos.		
Más de la mitad del material pasa por el tamiz número 200		Límite líquido mayor de 50	Arcillas inorgánicas de plasticidad alta.	CH	Arcillas inorgánicas de plasticidad alta.	
			Arcillas orgánicas de plasticidad media a elevada; limos orgánicos.	OH	Arcillas orgánicas de plasticidad media a elevada; limos orgánicos.	
Suelos muy orgánicos		PT	Turba y otros suelos de alto contenido orgánico.			

Este sistema de clasificación divide a los suelos en grupos que muestran propiedades mecánicas e hidráulicas semejantes, que son los resultados de la granulometría y la plasticidad.



CAPÍTULO 3: MARCO TEORICO

En base a la tabla de clasificación de suelos U.S.C.S. (ver tabla 3.1), podremos definir a continuación cada tipo de suelo:

- a) Arcilla: Suelo pasante en el tamiz N°200, en su totalidad o parte de el en granos finos, con índice de plasticidad igual o mayor que 4, cuya representación en la carta de plasticidad (ver figura 3.5) está por encima de la recta A.

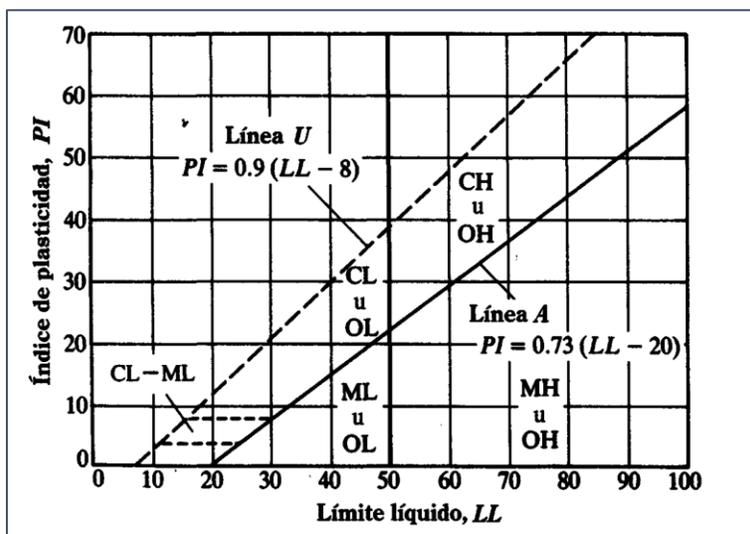


Figura 3. 5. Carta de plasticidad propuesta por Arthur Casagrande (Das, 1999).

- b) Grava: Partículas de roca que pasan el tamiz de 3" y que son retenidas por el tamiz N°4 aceptando la siguiente subdivisión:
- Gruesa: Pasa el tamiz de 3" y queda retenida por el tamiz 3/4" (19 mm).
 - Fina: Pasa el tamiz de 3/4" (19 mm), y queda retenida por el tamiz N°4 (4.75 mm).
- c) Arena: Partículas de roca que pasan el tamiz N°4 (4.75 mm) y que son retenidas por el tamiz N°200 aceptando la siguiente subdivisión:
- Gruesa: Pasa el tamiz N°4 (4.75 mm) y queda retenida por el tamiz N°10 (2 mm).
 - Media: Pasa el tamiz N°10 (2 mm) y queda retenida por el tamiz N°40 (4.25 μ m).
 - Fina: Pasa por el tamiz N°40 (4.25 μ m) y queda retenida por el tamiz N°200 (75 μ m).
- d) Limos: Suelo pasante por el tamiz N°200, en su totalidad o parte de el con granos finos, con índice de plasticidad menor que 4, cuya representación en la carta de plasticidad (Ver figura 3.5) está por debajo de la recta A.



3.2.6.2. Sistema de clasificación A.A.S.H.T.O.

El sistema de clasificación A.A.S.H.T.O., es principalmente utilizado para usos viales y de rellenos controlados tiene por finalidad proporcionar una clasificación de los suelos de origen mineral u orgánico-mineral con fines ingenieriles, a partir de ensayos de laboratorio que determinan sus propiedades granulométricas y de plasticidad.

Este sistema divide a los suelos en ocho grupos designados por los símbolos del A-1 al A-8 (Ver tabla 3.2), en base a su distribución granulométrica, limite líquido e índice de plasticidad (Das, 1999). Los grupos A-3, A-2 y A-1 se clasifican esencialmente por las características de su análisis granulométrico, en cambio los grupos A-4, A-5, A-6 y A-7 son de granos finos, lo que nos indica que tenemos que tomar en cuenta el factor plasticidad de los suelos.

Los suelos comprendidos 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 de grano fino. La turba, el lodo y otros sueltos altamente orgánicos quedan clasificados en el grupo A-8 y estos son identificados por inspección visual (Das, 1999). Estos a su vez se dividen en un total de doce subgrupos (Ver tabla 3.2). Cualquier suelo que contenga material fino se identifica además por su índice de grupo.

El índice de grupo se utiliza para comparar diferentes suelos dentro de un mismo grupo y se calcula con la ecuación:

Ecuación 3. 15. Índice de grupo.

$$I_g = (F - 35) \left((0.2 + 0.005(LL - 40)) \right) + 0.01(F - 15)(IP - 10)$$

Donde:

I_g: Índice de grupo.

F: Porcentaje que pasa por el tamiz No.200, expresado como un número entero.

LL: Limite líquido, %.



CAPÍTULO 3: MARCO TEORICO

IP: Índice de plasticidad, %.

Para la evaluación cualitativa de la conveniencia de un suelo como material para subrasante de un camino es importante el índice de grupo de un suelo, ya que entre mayor es el valor del índice de grupo para un suelo, será menor el uso del suelo como subrasante. Además el índice de grupo se representa siempre en números enteros positivos en paréntesis después del símbolo de grupo, ya que si es negativo se hace igual a cero.

Tabla 3. 2. Clasificación de suelos y de mezclas de agregados de la American Association of State Highway Transportation Officials (Schols Brownm, 2003).

CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS SEGÚN AASHTO											
Tabla 1.2 Clasificación de suelos por el método AASHTO											
Clasificación general	Material granular (35%, o menos pasa el tamiz N° 200)							Materiales limo- arcillosos (Más del 35% pasa el tamiz N° 200)			
Grupos	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
Subgrupo	A-1a	A-1b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5 A-7-6
Porcentaje que pasa el tamiz: N° 10 (2.00mm) N° 40 (0.425mm) N° 200 (0.075mm)	50 máx. 30 máx. 15 máx.	- 50 máx. 25 máx.	- 51 mín. 10 máx.	- - 35 máx.	- - 35 máx.	- - 35 máx.	- - 35 máx.	- - 36 mín.	- - 36 mín.	- - 36 mín.	- - -
Características del material que pasa el tamiz N° 40 (0.425mm): Limite líquido Índice de plasticidad	- 6 máx.		- NP	40 máx. 10 máx.	41 mín. 10 máx.	40 máx. 11 mín.	41 mín. 11 mín.	40 máx. 10 máx.	41 mín. 10 máx.	40 máx. 11 mín.	41 mín. 11 mín*
Terreno de fundación	Excelente a bueno		Excelente a bueno	Excelente a bueno				Regular a malo			

* El índice de plasticidad del subgrupo A-7-5, es igual o menor a LL-30
El índice de plasticidad del subgrupo A-7-6, es mayor que LL-30



3.3. Esfuerzos de corte de los suelos, rigidez transversal o módulo de corte y módulo de Young o módulo de elasticidad).

3.3.1. Resistencia de los suelos al esfuerzo de corte.

Dentro de ciertos límites, los suelos se comportan bajo la acción de las cargas como los materiales elásticos, aunque en algunos casos se producen deformaciones mayores que las normales, teniéndose que recurrir entonces a cálculos que tengan en cuenta la plasticidad del suelo (Villalaz, 2004). El problema de la determinación de la resistencia al esfuerzo cortante de los suelos puede decirse que constituye uno de los puntos fundamentales de toda la mecánica de suelos. En efecto, una valoración correcta de ese concepto constituye un paso previo imprescindible para intentar, con esperanzas de éxito, cualquier aplicación de la mecánica de suelos al análisis de la estabilidad de obras civiles.

La resistencia de corte (τ), de un suelo, en términos de esfuerzo efectivo se calcula mediante la siguiente ecuación:

Ecuación 3. 16. Resistencia de esfuerzo cortante.

$$\tau = c + \sigma' \tan\phi$$

Donde:

σ' : Esfuerzo normal efectivo en el plano de corte (gr/cm^2).

c : Cohesión del suelo (gr/cm^2).

Φ : Angulo de fricción.

3.3.1.1. Angulo de fricción interna de los suelos.

El ángulo de fricción interna es un valor de convenio introducido para simplificar, y se le considera constante aunque no lo es. El ángulo de fricción interna depende de la uniformidad de las partículas del suelo, del tamaño y forma de los granos y de la presión normal.



CAPÍTULO 3: MARCO TEORICO

Para las arenas, el ángulo de fricción generalmente varía entre 26° y 45°, aumentando con la compacidad relativa de compactación (Das, 1999). A continuación se presentan valores típicos de ángulos de fricción interna de algunos suelos:

Tabla 3. 3. Ángulos de fricción para diferentes tipos de suelos.

Tipo de suelo	Consistencia	Angulo de fricción interna en grados
Arena gruesa o arena con grava	Compacta	40
	suelta	35
Arena media	Compacta	40
	suelta	30
Arena limosa fina o limo arenoso	Compacta	30
	suelta	25
Limo uniforme	Compacta	30
	suelta	25
Arcilla - limo	Suave a mediana	20
Arcilla limosa	Suave a mediana	15
Arcilla	Suave a mediana	0.1

Fuente: (Wykeham Farrance, 2009).

Tabla 3. 4. Ángulos de fricción δ° entre varios materiales y suelos o rocas.

Tipo de Material	δ°
Masas de concreto o albañilería con:	
Roca sólida limpia	35
Grava, Grava-arena o arena gruesa	29 a 31
Arena fina limpia o arena arcillosa	24 a 19
Limo arenoso	17 a 19
Arcilla consolidada muy rígida	22 a 26
Arcilla medio rígida	17 a 19
Pilotes de acero con:	



Tipo de material	δ°
Grava limpia, mezcla de grava-arena	22
Arena limpia, arena-grava	17
Arena-limosa, arena limosa o arcillosa	14
Arena-limosa fina, limo no plástico	11
Concreto pre moldeado-tablestaca con:	
Grava limpia, mezcla de grava arena	22 a 26
Arena limpia, arena grava	17 a 22
Arena limosa, arena limosa y arcillosa	17
Arena-limosa fina, limo no plástico	14
Otros materiales:	
Albañilería sobre madera (perpendicular al grano)	26
Acero a acero en tablestacado	17
Madera sobre suelo	14 a 16

Fuente: (Wykeham Farrance, 2009).

3.3.1.2. Factor cohesión de los suelos.

La cohesión se puede definir como la adherencia entre las partículas del suelo debida a la atracción entre ellas en virtud de las fuerzas moleculares (Villalaz, 2004).

El valor de la cohesión para arcillas blandas puede determinarse directamente con la prueba de compresión axial no confinada (Ver ecuación 3.17) utilizando un instrumento llamado penetrómetro, el cual determina el esfuerzo de ruptura a compresión axial (q_u) que se da en un determinado suelo. El factor cohesión se calcula mediante la siguiente ecuación:

Ecuación 3. 17. Calculo de la cohesión mediante la prueba de compresión axial no confinada.

$$c = 0.5 \times q_u$$



3.3.1.3. Distribución de presiones en la masa de los suelos.

- *Principio de esfuerzos efectivos.*

El esfuerzo efectivo es la diferencia entre el esfuerzo total y la presión de poros, quedando expresado de la siguiente forma: $\sigma = \sigma - \mu$.

Debido a la naturaleza incompresible del agua, la presencia de ésta en el suelo, juega un papel importante en el comportamiento del mismo, puesto que si por efecto de presiones exteriores el agua adquiere presiones elevadas, ésta tenderá a fluir hacia zonas de menor presión, dando lugar a la compresibilidad (relación esfuerzo – deformación) de la masa sólida del suelo y en consecuencia a el asentamiento del mismo, tomando en cuenta que el tiempo tendrá gran influencia en estos efectos (Villalaz, 2004).

El esfuerzo total (σ) representa la relación entre la carga total actuante sobre el área transversal cubierta por dicha carga. $\sigma = P / A$

El esfuerzo efectivo (σ) representa la parte del esfuerzo total que es tomada por la fase sólida del suelo, transmitiéndose entre los granos de la misma. La presión de poro (μ) representa la presión a la que está sometida el agua en los vacíos del suelo. También es conocida como presión neutral por la incapacidad del agua para tomar esfuerzos cortantes (Juarez Badillo & Rico Rodriguez, 2005).

3.3.2. Control no nuclear de compactación del suelo en terreno mediante rigidez y módulo de elasticidad (Norma ASTM D6758).

3.3.2.1. Generalidades.

Siempre ha existido la necesidad de medir, monitorear y manejar el proceso de compactación para tratar de obtener las características ingenieriles de diseño de los suelos compactados.



Por ejemplo, en carreteras:

La rigidez de capa; es una propiedad estructural y una medida de resistencia a la flexión, se usa para determinar la cantidad de deflexión necesaria para que asegure la transferencia pareja y efectiva de las cargas en tránsito desde la superficie del pavimento a la base, sub-base y niveles inferiores.

El módulo de Young; es una propiedad del material que es una medida de su compresibilidad para que cada material utilizado se comportará según lo proyectado.

Tanto para los diseñadores como para los contratistas, este tipo de análisis provee la capacidad de reducir la infinita variabilidad que es propia del suelo y del proceso, también complementa y provee alternativas al módulo elástico, deflectómetro por caída de peso, CBR in-situ, prueba con plato de carga, cono dinámico, penetrómetro y otras medidas de resistencia, rigidez, módulo y deflexión. Este tipo de estudio generalmente se realiza utilizando un equipo portátil denominado GEOGAUGE.

3.3.2.2. Concepto de GEOGAUGE.

El GEOGAUGE es un instrumento portátil de terreno que provee un método simple, rápido y preciso de medición in-situ de las características ingenieriles y del material, para un mejor control del proceso de compactación del suelo. En forma específica, mide la rigidez de capas (propiedad de ingeniería) y el módulo de Young, propiedad del material.

El Geo Gauge aplica a la superficie del suelo, una fuerza vibradora de carga constante, midiendo el desplazamiento resultante, esta tecnología dinámica simula las condiciones del uso real, el suelo y otros materiales se compactan para crear una estructura funcional con las propiedades de diseños deseados para la aplicación y la vida útil que se requiera.

3.3.2.3. Especificaciones técnicas del GEO-GAUGE H-4140.

- Rigidez: 3 a 70 MN/m



CAPÍTULO 3: MARCO TEORICO

- Módulo de Young: 26 a 610 MPa
- Medida de profundidad: de 230 a 310 mm
- Duración de medida: 75 segundos
- Alimentación: 6 pilas tipo “D” (500-1500 medidas)
- Dimensiones con caja: 470*420*330 mm
- Peso del instrumento: 10 Kg (Frankie, 2013).

El Geo Gauge muestra en la pantalla dos datos esenciales como lo son la rigidez (módulo de rigidez) y el módulo de Young (módulo de elasticidad), resultante de la fuerza impartida al suelo y la desviación resultante de la superficie. Este instrumento imparte muy pequeños desplazamientos al suelo, en 25 frecuencias estables entre 100 a 196 Hertz, todo este proceso dura aproximadamente 75 segundos (Frankie, 2013).

Tomando en cuenta que los datos de módulo de Young y módulo de rigidez están dados mediante las ecuaciones 3.18 y 3.19, podemos encontrar en el rango del límite elástico las diferentes tipos de deformaciones tanto en el plano tangencial, (Ver ecuación 3.18), así como en el plano normal (Ver ecuación 3.19) a la cual comúnmente se conoce como deformación de volumen o en nuestro caso específico ingenieril como asentamiento.

Ecuación 3. 18. Rigidez de capa o módulo de corte.

$$G = \frac{\tau}{\gamma} \Rightarrow \gamma = \frac{\tau}{G}$$

Ecuación 3. 19. Módulo de Young o módulo de elasticidad.

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \Rightarrow \varepsilon = \frac{\sigma}{E}$$

Donde:

G: Modulo de rigidez de capa (MN/m).

E: Modulo de elasticidad o módulo de Young (MPa).

τ : Esfuerzo de corte de los suelos (Kg/cm²).

σ : Esfuerzo con dirección normal o esfuerzos efectivos (Kg/cm²).



CAPÍTULO 3: MARCO TEORICO

ε : Deformación unitaria del material (Adimensional).

γ : Deformación cortante o deformación por cizalladura (cm)

Estas propiedades definen las características de esfuerzo-deformación del suelo, ya que la aplicación de esfuerzos agregados a una masa de suelo origina cambios de volumen y desplazamientos, los cuales ocurren a nivel de cimentación, provocando así asentamientos en ella. Es importante mencionar que la limitación de los asentamientos a ciertos valores permisibles suele regir el diseño de las cimentaciones, sobre todo cuando los suelos son granulares, como lo son los suelos encontrados en las diferentes muestras para este trabajo monográfico.

En el caso de los suelos granulares, este tipo de esfuerzo en modo compresible se expresa en términos del módulo de Young o módulo de elasticidad (E), el cual suele considerarse equivalente al módulo secante de la curva de esfuerzo-deformación. Este módulo disminuye al aumentar el esfuerzo axial.

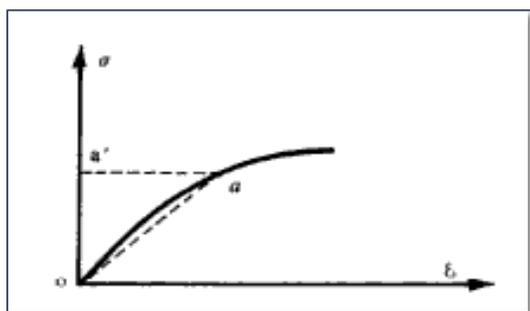


Figura 3. 6. Curva de esfuerzo-deformación unitaria (Navarro, 2006).



3.3.3. Propiedades mecánicas a partir de la relación esfuerzo-deformación de los suelos.

Tenemos que tener en cuenta que la correcta idealización de un cuerpo real al aplicarle una determinada fuerza es que sufrirá algún tipo de deformación implicando así la aparición de esfuerzos que pueden llevar hasta la ruptura. A continuación se presentan las razones de proporcionalidades entre esfuerzos-deformaciones que se dan en los suelos.

3.3.3.1. Módulo de elasticidad o módulo de Young (E).

La ley de Hooke relaciona la deformación (ε) de un cuerpo sometido a esfuerzo axial, con la tensión normal generada por dicho esfuerzo (σ), mediante la constante E que se denomina módulo de elasticidad lineal o módulo de Young. El módulo de elasticidad es una medida de rigidez del material, ya que el material es más rígido entre mayor sea su módulo de Young.

3.3.3.2. Módulo de Rigidez o módulo de elasticidad tangencial (G).

Es la pendiente de la línea recta que se forma en la zona elástica de la curva esfuerzo cortante-deformación angular. Es la relación entre los esfuerzos cortante que se dan en el cuerpo con las deformaciones de cizalladura provocados por dicho esfuerzo.

3.3.3.3. Deformación unitaria longitudinal (ε).

Es la variación relativa de longitud que sufre un cuerpo al aplicarle una fuerza de compresión (Ver ecuación 3.20), ya que aplicarle dicha fuerza, el cuerpo experimenta una deformación longitudinal (ΔL), a la cual denominaremos en nuestro caso asentamiento, obteniendo así la siguiente expresión:

Ecuación 3. 20. Deformación unitaria longitudinal.

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L}$$



Donde:

ε : Deformación unitaria longitudinal.

ΔL : Deformación longitudinal (cm).

L: Longitud total del cuerpo (cm).

La teoría de la elasticidad puede utilizarse, siempre que se considera al suelo como un compuesto homogéneo, isotrópico y linealmente elástico para así obtener expresiones de las deformaciones que resultan de una masa de suelo cuando se aplica una carga. En nuestro caso es de interés conocer las deformaciones verticales, es decir, los asentamientos. Las soluciones para los asentamientos basados en la teoría de la elasticidad utilizan el módulo de elasticidad (E) y la relación de Poisson (μ).

El asentamiento de una cimentación se divide en dos categorías principales: asentamiento inmediato o elástico y el asentamiento por consolidación (primaria y secundaria), la suma de ambos asentamientos nos da como resultados el asentamiento total que se da en la estructura.

- a. **Asentamiento elástico o inmediato:** Los asentamientos debidos a la compresión del suelo sin deslizamiento de partículas se suelen llamar asentamiento elásticos, en oposición a los plásticos, que son aquellos en los que se produce una rotura del suelo al aplicar una carga. Para el cálculo de este tipo de asentamiento se podrá utilizar la teoría elástica (Ver ecuación 3.21), ya que con las leyes de Hooke el comportamiento esfuerzo-deformación es entendible. Los parámetros geo mecánicos necesarios de este tipo de teoría deberán ser obtenidos en ensayos de laboratorio sobre muestras de tipo inalterada. Este tipo de asentamiento tiene lugar inmediatamente después de la construcción de la estructura, en la cual el suelo en el estado en el que se encuentre (seco o húmedo) no experimentara cambio alguno en su contenido de humedad.

Los asentamientos elásticos no significan en principio peligro de hundimiento de la obra, ya que el suelo conserva su capacidad resistente. Sin embargo, estas deformaciones pueden ser incompatibles con la resistencia de la estructura.



CAPÍTULO 3: MARCO TEORICO

Para calcular este tipo de asentamientos basados en la teoría de la elasticidad se utiliza la siguiente ecuación:

Ecuación 3. 21. Determinación de asentamientos instantáneos utilizando la teoría de la elasticidad.

$$\rho_{\text{elastico}} = \frac{q \times B \times (1 - \mu^2) \times I_p}{E}$$

Donde:

q: Intensidad de la presión efectiva de contacto (Kg/cm²).

B: Ancho de fundación (cm).

E: Modulo de Young o módulo de elasticidad (Kg/cm²).

I_p: Factor de influencia para el desplazamiento vertical.

μ: Coeficiente de Poisson (Moffat, 2007).

- b. **Asentamiento por consolidación primaria:** Ocurre a lo largo del tiempo, es el resultado de un cambio de volumen en suelos cohesivos saturados. Para el cálculo de este tipo de asentamiento se utilizara la teoría de consolidación. Según esta teoría al aplicar una carga sobre un suelo saturado cohesivo, la deformación que experimenta, se produce por el cambio de volumen en el material debido a la expulsión del agua que se encuentra en la zona de vacíos del suelo (Juarez Badillo & Rico Rodriguez, 2005).

- c. **Asentamiento por consolidación secundaria:** Ocurre cuando finaliza la consolidación primaria y es causado por la reorientación de las partículas de suelo, siempre bajo carga constante, en suelos cohesivos este asentamiento puede producirse después de varios años, es un proceso lento. Este tipo de asentamiento es el ajuste plástico de la estructura del suelo, permitiendo que los excesos de presión en el agua se disipen y que toda la carga sea entregada a la estructura del suelo.



d. **Asentamiento permisibles o tolerables para edificaciones:** El asentamiento puede tener importancia por tres razones, incluso aunque la falla no sea inminente: aspecto, condiciones de servicio y daños de la estructura. En términos del asentamiento promedio total que experimente la cimentación de una estructura durante un lapso de 25 años: Para construcciones aisladas 20 cm, y para construcciones entre medianeros 10 cm (Moffat, 2007). En el caso de los suelos granulares el asentamiento diferencial se puede estimar como el 75% del asentamiento total (Henriquez, Pedrals, & Valdés, 2009). Generalmente si los asentamientos que se lleguen a calcular exceden los valores determinados como tolerables (Ver figura 3.7), se hace necesario reducir la capacidad de soporte admisible de diseño de manera que se limiten los asentamientos a valores adecuados.

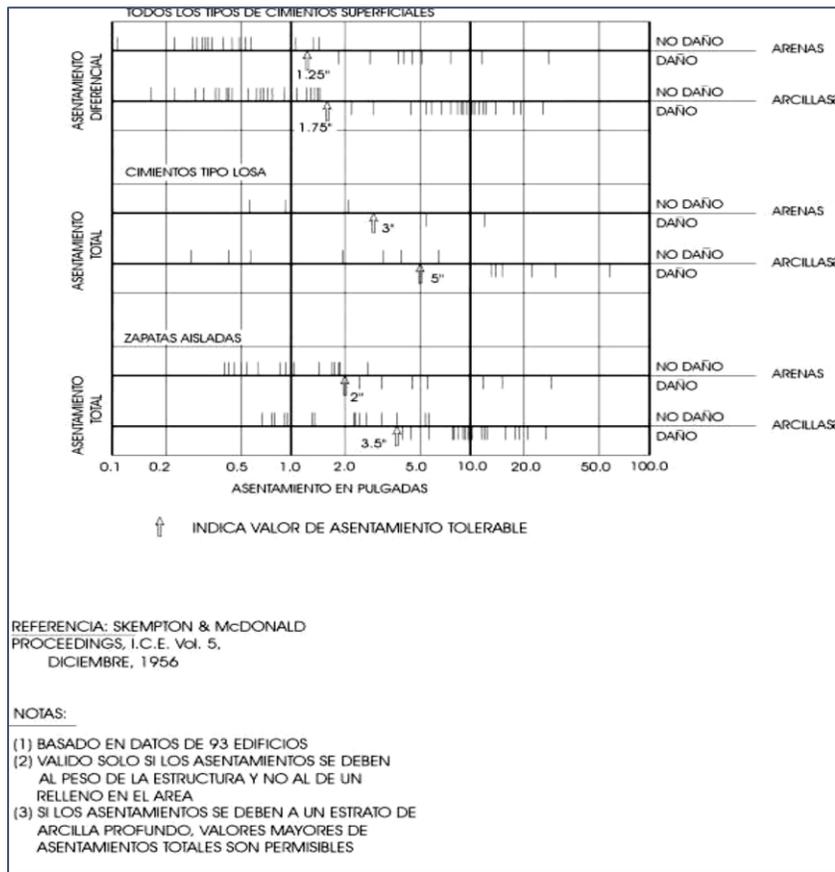


Figura 3. 7. Asentamientos permisibles en función del tipo de asentamiento que sufra la estructura (Skempton & McDonald, 1956).



e. **Asentamiento según tipo de suelo:** En el caso de los suelos granulares, de alta permeabilidad, el asentamiento instantáneo es el más relevante, ya que se considera que la expulsión de agua ocurre inmediatamente. Con respecto a tipos de suelos tenemos que los asentamientos admisibles máximos que se pueden dar son los siguientes: Para suelos arenosos 32 mm y en el caso de suelos arcillosos 45 mm (Skemton & McDonald, 1956). En suelos finos, de baja permeabilidad, el asentamiento por consolidación toma relevancia, ya que este puede tomar una gran cantidad de tiempo y una magnitud considerable. En suelos orgánicos y suelos inorgánicos altamente compresibles, es la consolidación secundaria la que toma alta relevancia (Henríquez, Pedrals, & Valdés, 2009). Cabe mencionar además la importancia del método de Schmertmann (Ver figura 3.8) para calcular asentamientos en suelos granulares.

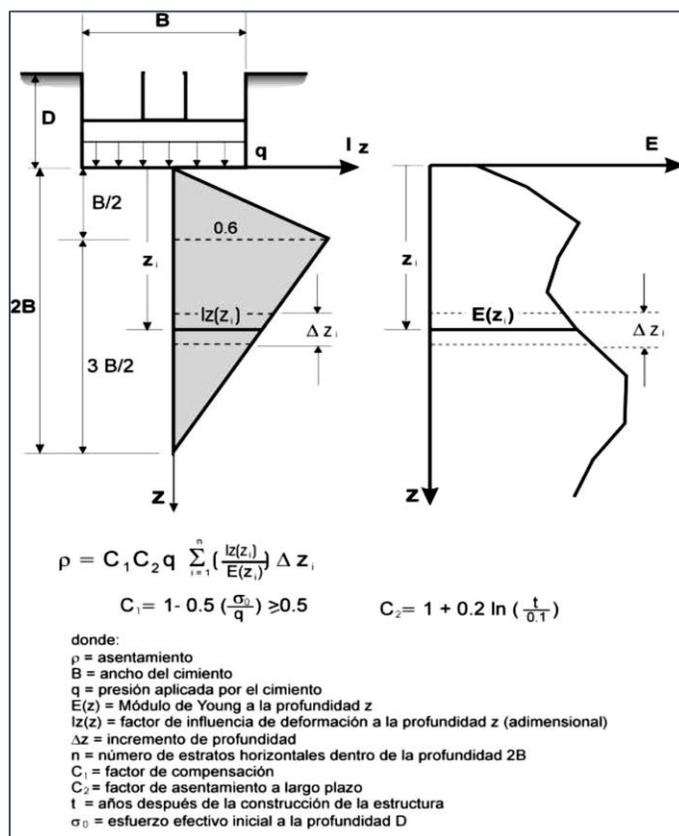


Figura 3. 8. Método propuesto por Schmertmann para el cálculo de asentamiento en suelos granulares (Henríquez, Pedrals, & Valdés, 2009).



En perfiles de suelos homogéneos y despreciando los factores C_1 y C_2 , el asentamiento se reduce a la siguiente expresión:

Ecuación 3. 22. Calculo de asentamiento propuesto por Schmmertmann para suelos homogéneos.

$$\rho = \frac{0.6 \times q \times B}{E}$$

Donde:

ρ : Asentamiento en suelos homogéneos granulares (cm).

q : Intensidad de la presión efectiva de contacto (Kg/cm^2).

B : Ancho de fundación (cm).

E : Modulo de elasticidad o módulo de Young (Kg/cm^2).

Además desde el punto de vista del sistema esfuerzo-deformación de un cuerpo, en nuestro caso una masa de suelo; la deformación unitaria longitudinal es la relación entre el esfuerzo normal y el módulo de elasticidad que se da en la masa de suelo.

3.3.3.4. Deformación angular o deformación de cizalladura (γ).

La deformación por cizalladura se produce solo en sólidos, por eso se dice que estos presentan rigidez, ya que los sólidos pueden tener deformaciones volumétricas y de forma, mientras que los fluidos solo poseen deformaciones volumétricas. La deformación angular es la relación entre el esfuerzo cortante y el módulo de rigidez dado en el material. Es importante mencionar que la relación anteriormente mencionada, en un estado bidimensional de cizalladura pura, cumple, dentro de los límites elásticos de la ley de Hooke.



4. CAPÍTULO 4: DISEÑO METODOLÓGICO.

4.1. Tipo de estudio.

Según su profundidad es un estudio descriptivo-analítico porque pretende caracterizar cuáles son los valores de resistencia de corte, módulo de Young y módulo de rigidez con diferentes muestras de suelos extraídas del municipio de San Juan de Oriente, por ende se extraerán muestras de diversos puntos del área en estudio.

Es de tipo analítico porque esencialmente al momento de procesamientos de las muestras recopiladas se irán obteniendo resultados cuantitativos, tales como: Contenido de humedad, gravedad específica, límites de consistencia o límites de Attenberg, etc. se considera prospectiva porque los valores de resistencia de corte, módulo de elasticidad y rigidez de capa no incluirán datos que fueron obtenidos en estudios anteriores, sino a partir del momento en que se realizara el estudio de investigación. Por su horizonte de tiempo de tipo transversal.

4.2. Universo y población.

La investigación será realizada en el municipio de San Juan de Oriente, en diferentes puntos del área en estudio para así poder obtener un mayor número de datos de campo y al momento de procesar las muestras lograr resultados más precisos, evitando así márgenes de errores considerables y por tal razón realizar un análisis meramente objetivo. También en coordinación con ingenieros de la alcaldía municipal para contar con su debida autorización.

4.3. Muestra.

La realización del muestreo de suelos serán extraídos en diversos puntos del área de estudio específicamente en las diferentes zonas de dicha municipalidad, todo esto con el objetivo de que el radio de influencia entre cada muestra sea mayor o igual a 1 kilómetro.

En este caso, autoridades de la alcaldía municipal de San Juan de Oriente brindaron datos específicos de los puntos de sondeos, esto se hizo con el objetivo de aprovechamiento del presente estudio técnico, ya que actualmente se tienen proyecciones de obras civiles en el



CAPITULO 4: DISEÑO METODOLOGICO

municipio como por ejemplo, construcción de una urbanización contiguo a la Calle-Campo deportivo "El Mamey", mejoramiento de calles con estructura de adoquín en el barrio Buena Vista, entre otros proyectos.

Cabe mencionar que para esta investigación se realizaran 4 perforaciones a cielo abierto, las cuales están georreferenciadas a continuación.

Tabla 4. 1. Coordenadas de puntos de sondeos.

ID De punto	Nombre del punto	Coordenadas X	Coordenadas Y
1	Calle-Campo deportivo "El Mamey"	601651.88 m E	1315316.12 m N
2	Barrio Buena Vista	601669.57 m E	1316000.33 m N
3	Castillo No.1-Vertedero municipal	600551.01 m E	1315459.58 m N
4	Garnacha-Casa Nahí	600496.61 m E	1313495.06 m N

Proyección: UTM WGS_1984_UTM_Zone_16P

Las muestras que se van a obtener serán de dos tipos de muestras las cuales son: muestras alteradas mediante el cual serán determinadas las características físicas y mecánicas de cada muestra obtenidas, a su vez se van a extraer muestras inalteradas para los ensayos de corte, pruebas rigideces y módulo de Young.

4.4. Técnicas de recopilación de datos.

- **Revisión bibliográfica.**
- **Observación de campo.**
- **Sitios web.**
- **Pozos a cielo abierto (Calicatas).**
- **Pruebas de laboratorios.**



4.5.Operacionalización de variables.

Variables	Indicador	Fuente	Técnica	Instrumento
Muestras de suelo	Muestras alteradas e inalteradas	<p>Puntos georreferenciados de cada muestreo:</p> <p>Punto #1: Abscisa 601651.88 m E Norte 1315316.12 m N Zona 16P</p> <p>Punto #2: Abscisa 601669.57 m E Norte 1316000 m N Zona 16P</p> <p>Punto #3: Abscisa 600551.01 m E Norte: 1315459.58 m N Zona 16P</p> <p>Punto #4: Abscisa</p>	Calicatas o pozos a cielo abierto	Palas, Piquetes, Barras, Cinta métrica, Parafina, Machete de hoja delgada, Cuchillo de hoja delgada, Brochas, Pana metálica, Estufa, Sacos (Capacidad 50 kg), Bolsas plásticas, Tela mosquitero, Caja de madera para muestras inalteradas



CAPITULO 4: DISEÑO METODOLOGICO

		600495.61 m E Norte 1313495.06 m N Zona 16P		
Características físico-mecánicas	Consistencia, distribución granulométrica, densidad, resistencia de esfuerzo de corte.	Laboratorios del Instituto de Geología y Geofísica (IGG-CIGEO), de la UNAN-Managua	Pruebas de laboratorios	Tamices, Horno con temperatura controlada de 100 a 110 °C, Balanza con precisión de 0.01 gr, Taras, Hidrómetro, Solución de Metafosfato (NaPO ₃) al 5%, Maquina Batidora, Probetas, Tapón de caucho No. 12, Termómetro, Agua destilada, Balanza de precisión 0.01 gr, Cronómetro, Aparato de Arthur



				<p>Casagrande, Ranurador trapezoidal tipo A.S.T.M, Cápsula de porcelana, Espátula, Botella de plástico blando bureta, Picnómetro de 500 ml, Embudo, Toallas absorbentes, Bomba de vacíos,</p>
<p>Clasificación del suelo</p>	<p>Tipo de materiales a encontrar</p>	<p>Normativa que rige la clasificación de los suelos tanto para el método (S.U.C.S) y el método (A.A.S.H.T.O)</p>	<p>Métodos de clasificación: Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (S.U.C.S), y Asociación Americana de Agencias Oficiales de Carreteras y Transporte (A.A.S.H.T.O)</p>	<p>Hojas de clasificación tanto de los métodos (S.U.C.S) y (A.A.S.H.T.O)</p>



CAPITULO 4: DISEÑO METODOLOGICO

Variable	Indicador	Fuente	Técnica	Instrumento
Capacidad de esfuerzo cortante, Modulo de rigidez y módulo de elasticidad	Comportamiento del suelo bajo cargas	Laboratorios del Instituto de Geología y Geofísica (IGG-CIGEO), de la UNAN-Managua	Ensayo de corte directo y ensayo de medida de control de compactación de suelo, rigidez y módulo de Young.	Penetrómetro, pesas de calibración, aparato de rigidez de los suelos (GEOGAUGE H-4140).
Recomendaciones técnicas	Calidad en el diseño y construcción de obras civiles.	Reglamento Nacional de la Construcción (RNC-07)	Revisión de sitio Web	Fichas de Documentación



5. CAPÍTULO 5: OBTENCION DE MUESTRAS, EQUIPO Y PRUEBAS DE LABORATORIO.

En este capítulo describen los procesos que se llevaron a cabo, tanto en la extracción de las muestras in situ, así como la descripción de los procesos y equipos utilizados en cada prueba de laboratorio.

5.1.Recolección y muestreo de suelo en la zona de estudio.

Recolección y muestreo de suelo en la zona de estudio mediante “Pozo a cielo abierto”.

5.1.1. Equipos:

- Palas
- Piquetes
- Barras
- Cinta métrica
- Machete de hoja delgada
- Cuchillo de hoja delgada
- Tela de mosquitero
- Sacos
- Taype
- Bolsas plásticas
- Caja de maderas para muestras inalteradas

5.1.2. Procedimientos:

5.1.2.1.Procedimientos para obtención de muestras alteradas:

- a) Primeramente, se excavo cada pozo a cielo abierto se obtuvo una parte de muestra seca y suelta con el propósito de obtener una superficie fresca.



- b) Luego se tomó una muestra de cada estrato en un recipiente y se colocó una tarjeta de identificación.
- c) Las muestras fueron enviadas en bolsas negras al laboratorio del IGG/CIGEO.

5.1.2.2.Procedimientos para obtención de muestras inalteradas.

- a) Se limpió y se aliso la superficie del terreno se me marco el contorno de la sección (30*30*30 cm).
- b) Se excavo una zanja alrededor de esto.
- c) Se ahondo la excavación y se cortan los lados del trozo empleando un machete de hoja delgada.
- d) Se cortó la sección con un cuchillo de lámina delgada y se retiró de la excavación.
- e) La cara del trozo extraído que corresponda al nivel del terreno se marcó con una señal para conocer su posición de origen. Una vez ya estando la muestra fuera del pozo a cielo abierto se envolvieron en tela de mosquitero y Taype para conservar su humedad natural.
- f) Finalmente, las muestras son depositadas en las cajitas de maderas y luego se llevaron al laboratorio.

En base a los sondeos realizados en el área determinada de estudio se realizaron 4 calicatas o pozo a cielo abierto con un área de 2.25 m², a una profundidad de 2.10 metros. En la calicata No 1 (Ver figura 5.1), y 2 respectivamente se encontraron 4 estratos, 2 estratos en la calicata No 3 y en la calicata No 4 encontrándose 3 estratos hasta la profundidad en estudio.



Figura 5. 1. Variación de estratos en la Calicata N°1.

En dichos pozos se determinó por simple inspección la predominancia de los siete suelos que posteriormente fueron ensayados en el laboratorio. Como parte del proceso de exploración se procedió a extraer dos tipos de muestras de cada calicata: muestra alterada, así como muestra inalterada (Ver figura 5.2), las cuales cumplirían con especificaciones para cada ensayo de laboratorio.



Figura 5. 2. Extracción de muestra inalterada de la calicata N°1.



Figura 5. 3. Preparación de la muestra inalterada de la calicata N°2 para su posterior traslado hacia el laboratorio.



Figura 5. 4. Caja de madera de traslado para muestra inalterada de la calicata N°2.



Figura 5. 5. Muestras alteradas extraídas de la calicata N°4.

5.2. Propiedades índices.

En el presente acápite se describen de manera precisa el proceso y los equipos utilizados para la determinación de cada una de las propiedades índices de los 13 estratos extraídos de las 4 calicatas perforadas.

5.2.1. Determinación del contenido de humedad.

5.2.1.1. Norma: ASTM D-2216

5.2.1.2. Equipos:

- a) Balanza de 0.1 gr de sensibilidad.
- b) Taras.
- c) Horno con Temperatura de 110 a 120 °C.



5.2.1.3.Procedimientos:

- a) Pesar una tara o recipiente de aluminio o latón. Identificar y revisar adecuadamente el recipiente. Las taras de humedad normalmente pueden ser de diferentes tamaños, para este ensayo serán utilizadas las taras de menor tamaño existentes en el laboratorio.
- b) Pesar una muestra representativa de suelo húmedo en este caso se trabajó con 50 gr en la tara y determinar el peso del recipiente más el del suelo húmedo.
- c) Después de pesar la muestra húmeda más el peso de la tara es llevada al horno con temperatura de 110 °C, por un periodo de tiempo de 16 a 24 horas.
- d) Cuando la muestra se haya secado hasta mostrar un peso constante, se saca la muestra del horno se deja enfriar y se determina el peso de la tara más el del suelo seco.
- e) Calcule el contenido de humedad ω . La diferencia entre el peso del suelo húmedo más el de la tara y el peso del suelo seco más el de la tara es el peso del agua $W \omega$ que estaba presente en la muestra. La diferencia entre el peso del suelo seco más el de la tara y el peso de la tara solo es el peso del suelo W_s .

$$\%W = \frac{W\omega}{W_s} * 100$$

Donde:

$\%W$ = Porcentaje de humedad.

$W \omega$ = Peso de agua.

W_s = Peso de muestra seca.

5.2.2. Determinación de la gravedad específica.

5.2.2.1.Norma: ASTM D-854; AASHTO T 93-86



5.2.2.2.Equipos:

- a) Frasco volumétrico de 500 ml.
- b) Bomba de vacíos.
- c) Balanza de precisión 0.1 gr.
- d) Maso de hule para morterear.
- e) Suministro de agua.
- f) Horno con Temperatura de 110 a 120 °C.
- g) Taras.
- h) Probeta de 1000 ml.

5.2.2.3.Procedimientos:

- a) Se toma una muestra de 60gr de lo que pasa por el tamiz No.8
- b) Se pesa la probeta seca y limpia.
- c) Se toma 200 ml de agua.
- d) Se deposita en la probeta y se toma la altura.
- e) Se pesa la probeta con agua.
- f) Se deposita los 60 gr de suelos.
- g) Se tomó el peso y la altura.
- h) Se extrajo el aire con la bomba de vacío de 10 a 15min.
- i) Se toma el peso y la altura de la probeta + agua sin aire.
- j) Se calcula la gravedad específica.

$$G_s = \frac{\delta_s}{\delta_w} \quad \delta_s = \frac{W_s}{V_s}$$

Donde:

G_s = Gravedad específica.

W_s = Peso de los sólidos.

δ_s = Peso específico de los sólidos.

V_s = Volumen de los sólidos.

δ_w = Peso específico del agua.



5.2.3. Determinación del análisis granulométrico (método mecánico).

5.2.3.1. Norma: ASTM D-422; AASHTO 27-88

5.2.3.2. Equipos:

- a) Juego de tamices.
- b) Balanza de precisión 0.1 gr.
- c) Horno con Temperatura de 110 a 120 °C.
- d) Taras.
- e) Agitador eléctrico automático.

5.2.3.3. Procedimientos:

- a) Se tomó una muestra representativa de 500 gramos aproximadamente obtenida del terreno directamente.
- b) Colocar la muestra sobre el tamiz No. 200 y lavar cuidadosamente el material a través del tamiz utilizando agua común hasta cuando el agua que pasa el tamiz mantenga su transparencia.
- c) Verter cuidadosamente el residuo en una tara e introducirla al horno por un periodo de tiempo de 12 a 24 horas aproximadamente.
- d) Una vez secada la muestra se saca del horno y se pone a enfriar.
- e) Luego se hace pasar el material a través de la serie de tamices que varíen desde los diámetros de 3” hasta el tamiz No. 200, esto es realizado manualmente para los matices de mayor tamaño y es utilizado el agitador eléctrico automático para los tamices de diámetros inferiores.
- f) Inmediatamente realizado e paso anterior pese las fracciones retenidas en cada tamiz, y anótela en el registro correspondiente.
- g) Calcular el porcentaje en cada tamiz dividiendo el peso retenido en cada uno de ellos por el peso de la muestra original. Esto es válido ya que el material que haya pasado



a través del tamiz No. 200 pasaría cualquier otro tamiz por encima del tamiz No. 200 en la serie.

- h) Calcular el porcentaje que pasa (o el porcentaje más fino que), comenzando por 100% y sustraer el porcentaje retenido en cada tamiz como un proceso acumulativo.
- i) Se grafica la curva granulométrica para obtener el D_{10} , D_{30} y D_{60} para el cálculo del Coeficiente de Curvatura (C_c) y Coeficiente de Uniformidad (C_u).

5.2.4. Determinación del análisis granulométrico (método del hidrométrico).

5.2.4.1. Norma: ASTM D-422; AASHTO T 88.

5.2.4.2. Equipos:

- a) Hidrómetro 151 H.
- b) Probetas de 1000 ml.
- c) Aparato para dispersar el suelo (Batidora).
- d) Agente dispersivo (hexa-metafosfato de sodio NaPO_3).
- e) Termómetro.
- f) Cronometro.
- g) Taritas de porcelana.

5.2.4.3. Procedimientos:

- a) Tomar exactamente 50 gr de suelo secado al horno y pulverizado (que hayan pasado por el tamiz No. 200), y mezclarlo con 125 ml de solución al 4% de NaPO_3 . La solución debe ser siempre fresca y en ningún caso haber sido preparada con más de un mes de anterioridad.
- b) Dejar asentar la muestra de suelo durante 16 horas aproximadamente según la ASTM. Transferir la mezcla al baso del aparato dispersor de suelos y añadir agua común hasta llenar 1/3 del vaso aproximadamente, mezclarlo por un intervalo de tiempo de 1



minuto si se emplearon entre las 10 y 16 horas en la preparación de la muestra, de lo contrario mezclarlo entre 3 y 5 minutos.

- c) Transferir el contenido del vaso de la batidora a una probeta, teniendo mucho cuidado de no perder material en el proceso. Añadir agua común hasta completar la marca de 1000 ml.
- d) Preparar una probeta patrón con agua común y 125 ml de la solución de dispersante al 4% o de la misma que utilizo en el paso No. 1. Verificar que la temperatura del agua común sea igual para ambas probetas el de sedimentación y el de control, este paso se realiza más que todo para la corrección de lectura del hidrómetro a utilizar.
- e) Luego usando la palma de la mano tape la boca de la probeta y homogenice la muestra girando el mismo en un arco de 180° por un periodo de 1 minuto. Coloque la probeta sobre la mesa y en ese preciso momento en que la probeta haga contacto con la mesa active el cronometro. Tome la primera lectura a los 30 segundos, 1 minuto, 2 minutos, 4 minutos. 8 minutos, 15 minutos, 30 minutos, 1 hora 2 horas, 4 horas y 24 horas, cabe mencionar que estos fueron los tiempos de las lecturas que se tomaron en la realización de este ensayo.
- f) Saque el hidrómetro y colóquelo en una probeta con agua común para que reposo y se lave, justo después de sacar el hidrómetro introduzca el termómetro y tome la temperatura.

5.2.5. Determinación de los límites de Atterberg.

5.2.5.1. Norma del límite líquido y límite plástico: ASTM D 4318; AASHTO T 89-90 y T 90-87.

5.2.5.2. Equipos para límite líquido:

- a) Aparato de Arturo Casagrande, incluyendo la solera plana y el ranurador trapezoidal.
- b) Tamiz No. 30.
- c) Balanza con sensibilidad de 0.01gr.
- d) Horno con Temperatura de 110 a 120 °C.



- e) Taras.
- f) Cápsula de porcelana.

5.2.5.3.Procedimientos para límite líquido:

Los ensayos de consistencia se hacen solamente con la fracción de suelo que pasa por el tamiz No. 30.

- a) Después de secada la muestra de suelo, se criba a través del tamiz No. 30 desechándose lo que queda retenido.
- b) Antes de utilizar la “Copa de Casagrande”, debe de ser ajustada (calibrada), para que la copa tenga una altura de caída de 1 cm, exactamente.
- c) Del material que paso el tamiz No. 30 se toman aproximadamente unos 100 gramos y se colocan en una cápsula de porcelana y con una espátula se hace una mezcla pastosa, homogénea y de consistencia suave agregándole una pequeña cantidad de agua durante el mezclado.
- d) Parte de esa mezcla se coloca con una espátula en la copa de Casagrande formando una torta alisada de un espesor de 1 cm, en la parte de máxima profundidad. Una altura menor aumenta el valor del límite líquido.
- e) El suelo colocado en la “Copa de Casagrande” se divide en la parte media en dos porciones utilizando para ello un ranurador, de manera que permanezca perpendicular a la superficie inferior de la copa.
- f) Después de asegurarse de que la copa y la base están limpias y secas, se da vuelta a la manija del “Aparato de Casagrande”, uniformemente a razón de 2 golpes por segundo, contando el número de golpes requeridos hasta que se cierre el fondo de la ranura en una distancia de 1 cm. Si la ranura se cierra antes de los 10 golpes, se saca el material se vuelve a mezclar y se repiten los pasos 4, 5 y 6.
- g) Después que el suelo se ha unido en la parte inferior de la ranura, se toman aproximadamente unos 40 gr de suelo, se anota el peso húmedo y el No de golpes obtenidos, y la muestra se mete al horno.



- h) Luego se saca del horno se enfría y se determina el peso seco para determinar el porcentaje de humedad correspondiente a cada número de golpes y se construye la curva de fluidez.
- i) El límite líquido define cuando el contenido de agua en la curva de fluidez corresponda a 25 golpes.

5.2.5.4. Equipos para límite plástico:

- a) Vidrio esmerilado o papel absorbente.
- b) Taras.
- c) Balanza con sensibilidad de 0.01 gr.
- d) Horno con Temperatura de 110 a 120 °C.

5.2.5.5. Procedimientos para límite plástico:

- a) Se toman aproximadamente la mitad de la muestra que se usó en límite líquido, procurando que tenga una humedad uniforme cercana a la humedad óptima, amáselo con la mano ruédelo sobre una superficie limpia y lisa, como una hoja de papel o un vidrio hasta formar un cilindro de 3 m, de diámetro y de 15 a 20 cm de largo.
- b) Se amasa la tira y se vuelve a rodar, repitiendo la operación tantas veces como se necesite para reducir gradualmente la humedad por evaporación, hasta que el cilindro se empiece a endurecer.
- c) El límite plástico se alcanza cuando el cilindro se agrieta al ser reducido a 3 mm de diámetro.
- d) Inmediatamente se divide en porciones y se ponen en pedazos en una tara.
- e) Se pesa en la balanza y se registra su peso.
- f) Se introduce la muestra en el horno por un periodo de 12 a 24 horas.
- g) Se saca la muestra se pone a enfriar y se determina el peso seco.
- h) Con los datos anteriores se calcula el contenido de agua en porcentaje. Si la diferencia de los dos % es mayor que el 2% se promedian en caso contrario se repite el ensayo.
- i) El promedio es el valor en porcentaje del Límite Plástico.



En lo correspondiente a los ensayos de pruebas mecánicas se realizaron tres tipos de ensayo los cuales son: Proctor Modificado debido a que el 100% del suelo en estudio pasa el tamiz $\frac{3}{4}$ "; Ensayo con el Penetrómetro de bolsillo el cual determina el esfuerzo a compresión axial; Y como un tercer ensayo con el Geo gauge que determina de rigidez de un suelo y a su vez el módulo de Young del mismo, por consiguiente se procedió a realizarlo de la siguiente manera:

5.2.6. Prueba de compactación de suelos "Proctor modificado".

5.2.6.1. Equipos:

- a) Un molde de compactación. Constituido por un cilindro metálico de 6" de diámetro interior $6 \frac{1}{2}$ de altura y una extensión de $2 \frac{1}{2}$ de altura y de 6" de diámetro interior.
- b) Equipo para realizar Proctor Modificado.
- c) Una regla metálica con arista cortante de 25 cm de largo.
- d) Balanza de 20 Kg de capacidad y 0.01 gr de sensibilidad.
- e) Horno con Temperatura de 110 a 120°C.
- f) Estufa.
- g) Taras.
- h) Probeta de 1000 ml.

5.2.6.2. Procedimientos:

Se obtiene por cuarteo una muestra representativa, previamente secada al sol y que según el método a usarse pueda ser de 3, 5, 7 y 12 kilogramos.

- a) De la muestra ya preparada se esparce agua en cantidad tal que la humedad resulte un poco menor del 10% y si el material es arenoso es conveniente ponerle una humedad menor.
- b) Se revuelve completamente el material tratando que el agua agregada se distribuya uniformemente.



- c) La muestra preparada se coloca en el molde cilíndrico en tres (5) capas, llenándose en cada capa aproximadamente $\frac{1}{3}$ de su altura y se compacta cada capa de la forma siguiente: se coloca el martillo o pisón y se le da los 56 golpes por capa que establece el método a la altura de caída de 1 pie.
- d) Al terminar la compactación de las tres capas, se quita la extensión y con la regla metálica se enraza la muestra al nivel superior del cilindro.
- e) Se limpia exteriormente el cilindro y se saca todo el material compactado, luego se pesa obteniéndose de esa manera el Peso del material. De esto se toma aproximadamente 100 gr de la parte central (núcleo) se deposita en una tara y se pesa.
- f) Deposite el material en el horno a una temperatura de 110 a 120° C por un período de 12 a 24 horas, transcurrido este período determínese el peso seco del material.
- g) El material sacado del cilindro se desmenuza y se le agrega agua hasta obtener un contenido de humedad del 4 al 8% mayor al anterior.
- h) Repita los pasos del 2 al 7 hasta obtener un número de resultados que permitan trazar una curva cuya cúspide corresponderá a la máxima densidad para una humedad óptima.

5.3.Pruebas de resistencia.

5.3.1. Determinación del esfuerzo a compresión axial utilizando el penetrómetro de bolsillo.

5.3.1.1.Norma: ASTM 2166-66, AASHTO T208-70.

5.3.1.2.Equipos:

- a) Penetrómetro de bolsillo.



Figura 5. 6. Penetrómetro de esfuerzo a compresión axial.

5.3.1.3.Procedimientos:

- a) Primeramente se preparó la muestra inalterada, se le quito el Taype y la tela de mosquitero en el cual venían protegidas desde el momento que se extrajeron de las calicatas.
- b) Una vez ya estando la muestra inalterada se selecciona la parte más regular de cada muestra esto con el objetivo de que la parte que hace contacto del penetrómetro con la muestra se obtenga un dato más confiable.
- c) Seguidamente se procedió a tomar las lecturas correspondientes a cada muestra inalterada de cada calicata (Ver figura 5.7), se tomaron 15 lecturas por muestra esto con el objetivo de obtener una mayor confiabilidad en los resultados.
- d) Se registraron las lecturas para su posterior análisis.



Figura 5. 7. Toma de lectura de esfuerzo a compresión axial sobre la superficie de la muestra inalterada de la calicata N°2.

5.3.2. Determinación de la rigidez de capa y módulo de Young con el Geo Gauge H-4140.

5.3.2.1. Norma: ASTM D- 6758

5.3.2.2. Equipos:

- a) Geo Gauge H-4140.

El Geo Gauge muestra en la pantalla dos datos esenciales como lo es la rigidez (módulo de rigidez) y el módulo de Young (módulo de elasticidad), resultante de la fuerza impartida al suelo y la desviación resultante de la superficie. Este instrumento imparte muy pequeños desplazamientos al suelo, en 25 frecuencias estables entre 100 a 196 Hertz. Todo este proceso dura aproximadamente 75 segundos.



Figura 5. 8. Equipo Geo Gauge H-4140 Humboldt (Norma ASTM D-6758).

5.3.2.3. Especificaciones técnicas del Geo Gauge H- 4140.

- a) Cumple con las normas ASTM D- 6758
- b) Panel de pantalla: pantalla LCD con teclado de funciones de membrana y puerto de comunicación infrarrojo
- c) Rango de rigidez de 3 a 70 MN/m
- d) Rango de módulo de Young de 26 a 610 MPa
- e) Rango de medición de profundidad 9 a 12 pulg. (230 a 310 mm)
- f) Temperatura de operación de 0°C a 58°C temperatura ambiente
- g) Fuente de poder: 6 pilas de 1.5 voltios (500 a 1500 mediciones)
- h) Peso 22 libras (10 Kg)
- i) Vibración $< 1.27 * 10^{-6}m$ (< 0.0005 in) a 125 Hz.

5.3.2.4. Procedimientos:

- a) Primeramente se realizó un procedimiento similar como el realizado en el ensayo del Penetrómetro de bolsillo, se preparó la muestra se le quito el Taype y la tela de mosquitero.



- b) Seguidamente se escogió la superficie más regular de la muestra esto con el objetivo de que la superficie del Geo Gauge que hace contacto con la muestra posea una buena estabilidad al momento de tomar las lecturas.
- c) Posteriormente se encendió y se calibro el equipo en la placa o base de calibración.
- d) Se procedió a poner el instrumento sobre cada una de las muestras por 75 segundos según la especificación técnica del equipo (Ver figura 5.9).
- e) Se tomaron 10 lecturas en distintos puntos de la superficie de cada muestra inalterada (Ver figura 5.10 y 5.11), (se tomaron datos de rigideces y módulo de Young).



Figura 5. 9. Ubicación del equipo Geo Gauge H-4140 sobre la superficie de la muestra inalterada de la calicata N°2.

Nota: El Geo Gauge realiza cinco mediciones en cada lectura que toma y el valor presentado por el mismo, es el promedio de las cinco mediciones, por consiguiente se tomaron 10 lecturas por cada muestra inalterada, lo que corresponde a 50 mediciones por muestra.



Figura 5. 10. Lectura de rigidez de capa en unidades internacionales en muestra inalterada de la calicata N°2.



Figura 5. 11. Lectura de módulo de elasticidad en unidades internacionales en muestra inalterada de la calicata N°2.



6. CAPÍTULO 6: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

Este capítulo se enfoca al análisis de los datos obtenidos durante la recolección de muestras y pruebas de laboratorio realizadas, del mismo modo se describen criterios aplicados y la interpretación de los métodos utilizados al igual que los resultados obtenidos mediante procesamiento de datos. Para dicho planteamiento retomaremos como acápites del proceso nuestros objetivos específicos, generando así 4 acápites fundamentales.

6.1.Determinación de puntos de sondeo mediante calicatas para muestras alteradas e inalteradas.

Previo al proceso de sondeos de pozos a cielo abierto, se procedió a determinar los puntos específicos en los cuales se desarrollarían cada perforación.

Se realizaron 4 perforaciones utilizando el método: pozo a cielo abierto, con profundidades de 2.10 metros. Los datos aquí presentados en las siguientes figuras corresponden a las características de los suelos encontrados en cada calicata, entre los cuales figuran: profundidad de extracción de muestra, granulometría, límites de consistencia, humedad, etc. Cabe mencionar que durante el proceso de sondeo de cada calicata, se dividió el suelo en diferentes estratos tomando en cuenta como parámetro fundamental el color y la textura del suelo, esto es de mucha utilidad al momento de construir la columna estratigráfica de cada calicata.

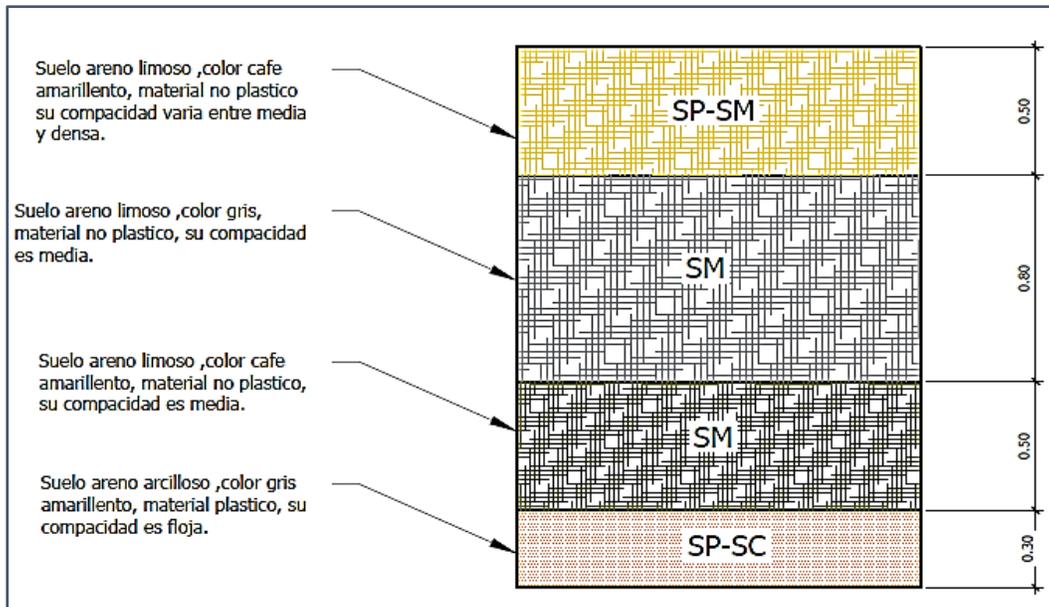


Figura 6. 1. Perfil estratigráfico-Calicata N°1.

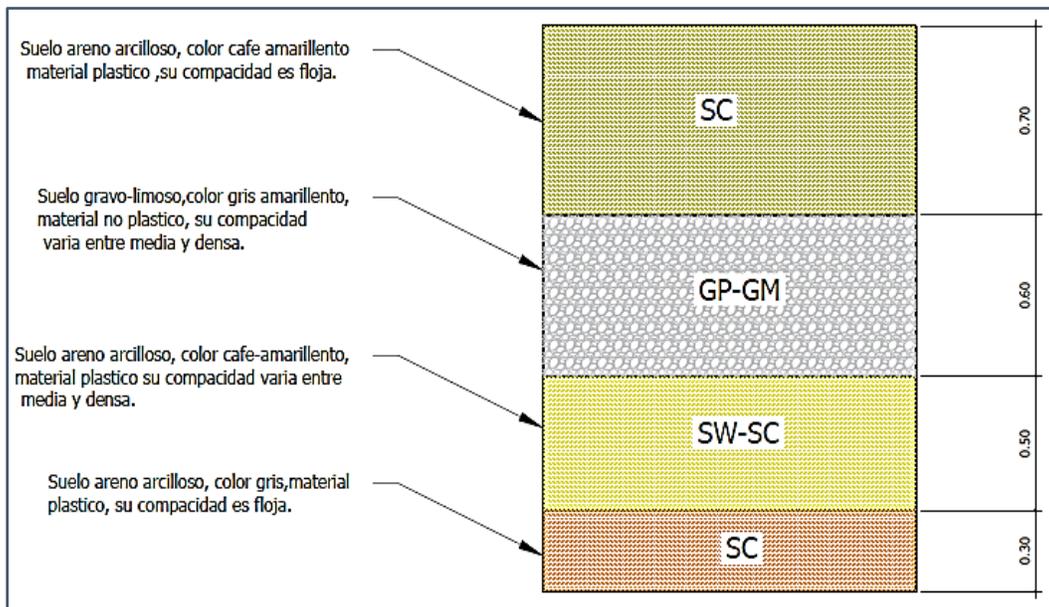


Figura 6. 2. Perfil estratigráfico-Calicata N°2.

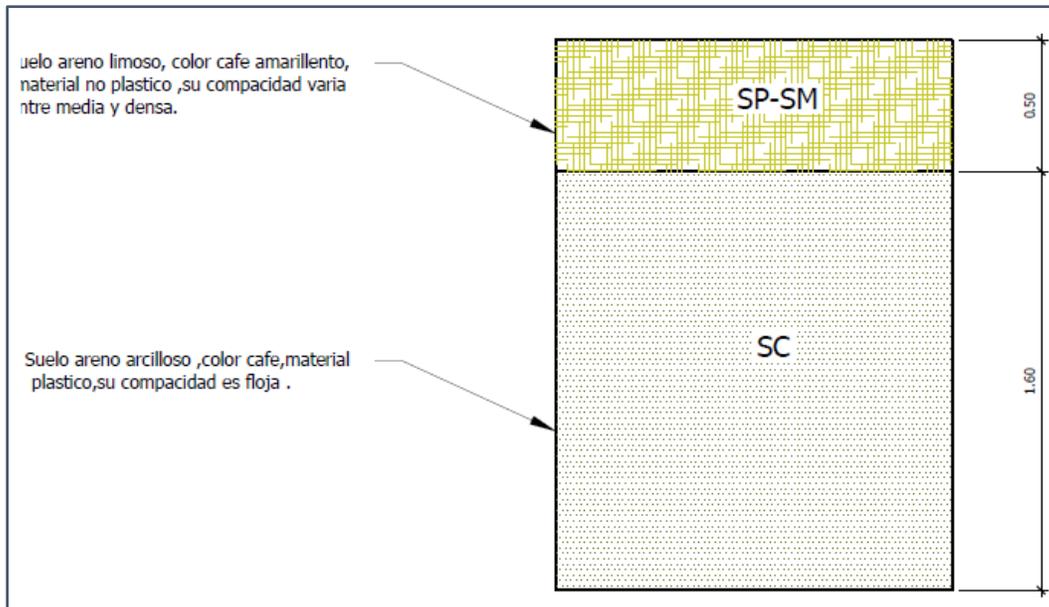


Figura 6. 3. Perfil estratigráfico-Calicata N°3.

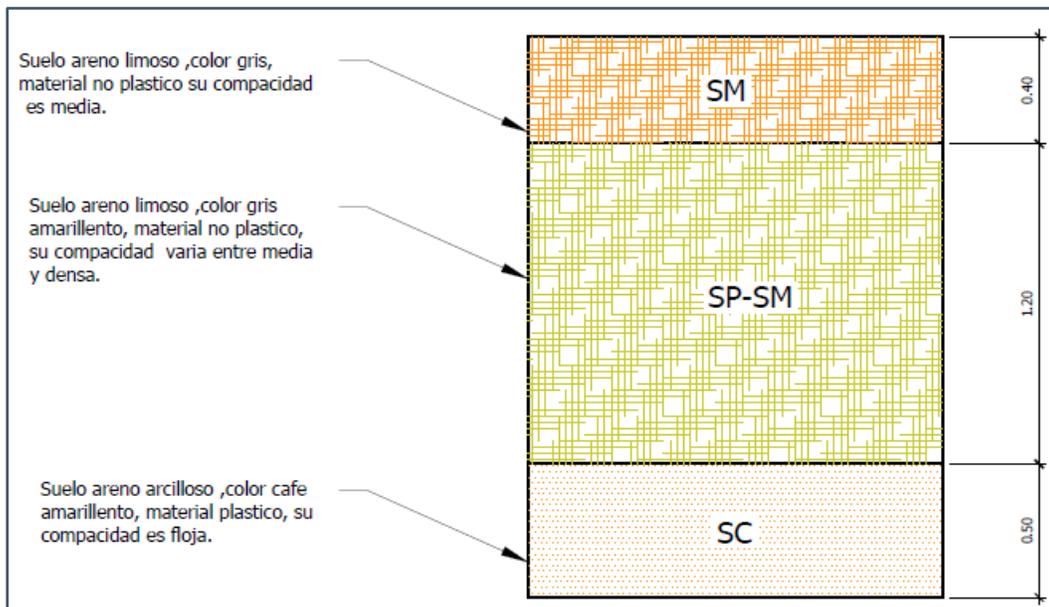


Figura 6. 4. Perfil estratigráfico-Calicata N°4.



6.2. Características físicas y mecánicas de las muestras de suelo.

Todos los datos obtenidos fueron analizados de forma tabular haciendo uso del software "Microsoft Excel", en el cual se insertaron las ecuaciones propuestas por las distintas normas sobre las cuales se fundamenta nuestro estudio.

6.2.1. Resultados obtenidos de las pruebas de laboratorio.

En la siguiente tabla se presentan los resultados de las distintas pruebas de laboratorio para la determinación de las características físicas de cada muestra alterada de suelo extraída de cada calicata.



CAPITULO 6: ANALISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS

Tabla 6. 1. Características físicas y mecánicas de las muestras de suelo de cada calicata.

Calicata N°	Estrato N°	H (m)	% W	Gs	Límites de consistencia			Distribución granulométrica						%W _{opt}	γ _{dmax}	Clasificación de suelos	
					LL (%)	LP (%)	IP (%)	% Grava	% Arena			% Limo	% Arcilla			U.S.C.S.	A.A.S.H.T.O.
									Gruesa	Media	Fina						
1.00	1.00	0.30	23.90	2.70	54.90	51.80	3.10	28.30	4.30	25.70	30.30	11.40	4.05	28.00	2.07	SP-SM	A-1-b
	2.00	0.90	16.10	2.67	38.20	33.70	4.40	12.30	6.20	31.30	36.10	14.10	4.99	28.00	2.07	SM	A-1-b
	3.00	1.60	17.60	2.68	37.10	28.70	8.40	13.60	1.90	17.80	38.40	28.30	5.97	23.18	2.19	SM	A-2-4
	4.00	2.00	21.30	2.68	40.50	25.34	15.16	31.40	4.70	21.90	31.60	10.40	3.67	36.39	1.84	SP-SC	A-2-7
2.00	1.00	0.40	25.30	2.72	45.60	21.50	24.10	16.30	5.70	29.90	35.30	12.80	5.31	36.39	1.84	SC	A-2-7
	2.00	1.00	25.80	2.65	33.30	26.90	6.40	47.60	5.60	14.70	24.20	7.90	3.51	22.80	2.16	GP-GM	A-2-4
	3.00	1.60	15.80	2.71	26.30	18.10	8.20	13.80	5.20	38.50	31.70	10.80	3.64	28.57	1.94	SW-SC	A-2-4
	4.00	2.00	19.90	2.73	30.30	13.80	16.40	12.70	2.50	18.90	38.90	27.00	7.77	22.72	2.17	SC	A-2-6 (1)
3.00	1.00	0.30	62.30	2.70	56.90	55.80	1.00	24.80	5.10	26.90	31.40	11.70	4.14	28.00	2.07	SP-SM	A-1-b
	2.00	1.30	28.30	2.69	35.60	21.35	14.25	17.30	6.30	25.20	38.90	12.30	5.33	29.84	1.96	SC	A-2-6
4.00	1.00	0.20	27.20	2.68	35.90	33.10	2.80	21.80	5.50	22.70	35.50	14.40	5.11	28.00	2.07	SM	A-1-b
	2.00	1.00	14.20	2.70	60.20	54.90	5.30	31.80	5.30	24.60	27.60	10.80	3.81	28.00	2.07	SP-SM	A-1-b
	3.00	1.90	56.50	2.69	29.80	21.35	8.46	20.70	7.50	21.30	34.90	15.60	5.50	28.57	1.94	SC	A-2-4



6.2.1.1. Análisis de resultados de pruebas de laboratorio.

- **Ensayo de contenido de humedad (ASTM D-2216).**

Según los resultados obtenidos en la realización del ensayo de laboratorio del contenido de humedad, se encontraron los mayores porcentajes de humedad en los estratos superficiales obviamente esto es debido a que los primeros estratos están expuestos a factores climatológicos como lo es la lluvia y la presión atmosférica, este porcentaje podría variar según la estación del año en que sean realizadas las calicatas (nótese en el caso de las profundidades de 0 a 1.3 m), lo cual depende directamente del tipo de suelo que habite en ello por lo tanto el porcentaje de humedad de cada estrato de suelo influirá mucho en la tipología del mismo.

Los porcentajes de humedad inferior encontrados en los estratos estudiados fueron de 14.199% correspondiente al estrato dos de la calicata número cuatro y siendo el mayor porcentaje 62.338% del estrato uno de la calicata tres.

- **Ensayo de gravedad específica (ASTM D-854, AASHTO T 93-86).**

Conforme a los resultados obtenidos del ensayo de laboratorio de la gravedad específica se determinó que el valor de los 13 estratos correspondientes a las 4 calicatas se encuentra dentro del rango establecido siendo la gravedad específica más baja de 2.652 del estrato dos, y la de mayor valor 2.727 del estrato cuatro ambas en la calicata dos. Según los intervalos existentes se puede decir que los estratos de suelos en estudio poseen mayores porcentajes de arenas con partículas de limos y arcillas.

- **Ensayo de análisis granulométrico de partículas usando el método de tamizado (ASTM D421-58 y D422-63, AASHTO T87-70 y T88-70).**

En la realización de este ensayo de laboratorio se pudo determinar cuantitativamente la distribución del tamaño de las partículas de los 13 estratos de suelos en estudio, el procedimiento fue realizado por el método lavado por tamizado y la información que se obtuvo de los análisis granulométricos permite decir que los suelos del municipio de San



Juan de Oriente, según su constitución granulométrica presentan un contenido de gravas del 22%, predominando en la mayoría de suelos en estudio las arenas con un contenido de 63%, y el porcentaje de finos entre limos y arcillas del 15%.

- **Ensayo de límites de consistencia o límites de Atterberg (ASTM 423-66 y D424-59, AASHTO T89-68 y T90-70).**

En la determinación de los límites de consistencia realizados en el laboratorio los suelos predominantes fueron arenas limosas y arenas arcillas mal graduadas, en lo correspondiente al índice de plasticidad se determinó que más del 60% de los suelos en estudio son suelos débilmente plásticos ya que su IP se encuentra entre 1 y 7, el 24% son suelos medianamente plásticos ($7 < IP < 15$), y encontrándose tres excepciones de suelos altamente plásticos ($IP > 15$), estas contenidas en la Calicata número 1, en el estrato N°4 y en la calicata dos, en los estratos 1 y 4 respectivamente.

- **Ensayo de análisis granulométrico de partículas usando el método hidrométrico (ASTM D421-58 y D422-63, AASHTO T87-70 y T99-70).**

Al haber realizado las curvas granulométricas de cada estrato de suelo de cada calicata (ver anexos), se puede observar que gran parte de las curvas no se complementan hasta el 10% del material que pasa en las abscisas de las gráficas, esto nos indica la necesidad de obtener un estimado de la distribución granulométrica de los suelos cuyas partículas se encuentran desde el tamiz No.200 hasta alrededor de 0.001 mm. Para la realización de este ensayo previamente se tuvo que clasificar cada estrato de suelo según su índice de plasticidad y distribución granulométrica (método mecánico), esto con el objetivo de ahorrar agente dispersante (hexa-metafosfato de sodio: NaPO_3), y optimizar el trabajo en lo que respecta al cálculo del porcentaje de peso en suspensión (Ni).

Una vez obtenido los resultados de este ensayo se determinó que los suelos con porcentajes de arcilla, tardan más tiempo en sedimentarse, caso contrario sucede con los materiales limosos.



- **Prueba de compactación: Proctor modificado (ASTM D698-91, AASHTO T 99-99).**

La densidad seca máxima obtenidas de los 7 ensayos de Proctor realizados oscila entre los 1.8 y 2.3 g/cm³, a su vez el porcentaje de humedad óptimo entre los 20% y 40%, presentándose la mayor densidad seca máxima de 2.19 g/cm³ en tipo de suelo (A-2-4 SM), y la mayor humedad óptima se dio en el tipo de suelo (A-2-7 SC) con 36.39%. Con respecto a este resultado se puede decir que fue necesario realizar seis veces el mismo ensayo para poder alcanzar la humedad óptima, por lo cual podemos inferir que los suelos con partículas de finos como limos y arcillas alcanzan su humedad óptima con altos contenidos de agua.

Se presenta una tendencia bien definida en donde a mayor energía de compactación la humedad óptima disminuye y la densidad seca máxima aumenta, esto se representa en la curva de compactación cuando la curva se mueve hacia la izquierda y hacia arriba.

6.2.1.2. Análisis de los resultados del proceso de clasificación de suelos AASHTO.

Según la clasificación de la American Association of State Highway and Transportation Officials (A.A.S.H.T.O), se encontraron los siguientes tipos de suelos: (A-1-b), que son fragmentos de Piedra Grava y Arena caracterizados por ser Excelente a Bueno; A su vez se clasificaron como (A-2-4), que son Gravas y Arenas Limosas y Arcillosas, que es un material Excelente a Bueno. Y por último dos tipos de suelos con partículas de suelos más finos (A-2-6) y (A-2-7), y son suelos con partículas de Gravas y Arenas Limosas y Arcillosas, regular para terreno de fundación.

6.2.1.3. Análisis de los resultados del proceso de clasificación de suelos U.S.C.S.

Según la información que hemos obtenido de los análisis granulométricos y los valores de los Límites Líquidos e Índices de Plasticidad del suelo en estudio, permite clasificarlo en el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (U.S.C.S), como los siguientes suelos: Arenas limosas mal graduadas (SP-SM) de alta plasticidad y caracterizados por ser muy compresibles, semipermeables a impermeables con alta resistencia al cortante en caso de terraplenes, a su vez encontramos este tipo de suelo con baja plasticidad y baja y media compresibilidad ya que su Límite Líquido es menor al 50%.



CAPITULO 6: ANALISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS

También se encontraron Arenas arcillosas (SC), de baja y alta plasticidad, y con poca o nada de compresibilidad según su Límite Líquido, caracterizados también por ser suelos impermeables, con alta a media resistencia al cortante. A su vez se encontró una excepción de Grava Limosa Mal Graduada (GP- GM), caracterizados por tener alta plasticidad y muy compresibles, es un suelo permeable y con alta resistencia al cortante. Y por último se encontró una Arena Limosa Bien Graduada (SW-SC), con alta plasticidad y caracterizado por ser muy compresibles, con alta resistencia al corte y permeable.



6.3. Esfuerzo cortante, rigidez de capa y módulo de Young en muestras inalteradas.

6.3.1. Resultados obtenidos sobre Cálculo de la resistencia de corte dada por la ecuación de Coulomb, y la Rigidez de capa y módulo de Young usando el GEO GAUGE H-4140.

Para la determinación del esfuerzo cortante de cada muestra inalterada extraída de cada calicata, se procedió a determinar primeramente los esfuerzos efectivos o esfuerzos verticales que se dan por peso propio de la masa de los suelos en cada muestra. Seguidamente se hizo uso de un penetómetro, determinando así de manera directa la resistencia a la ruptura q_u que está dado por el valor del esfuerzo a la compresión axial y posteriormente se calculó mediante ecuación la cohesión dividiendo entre dos el valor q_u , se realizaron 10 toma del lectura por cada calicata para obtener un mayor número de datos y se promediaron para contar con un solo valor en específico, y posteriormente se encontraron ángulos de fricción interna, estos valores de los ángulos encontrados fueron determinados mediante tipos de suelos siendo 21 para arenas arcillosas respectivamente. Cabe mencionar que cada muestra inalterada fue extraída del estrato con mayor profundidad de cada calicata.

Tabla 6. 2. Resistencias de corte dadas por la ecuación de Coulomb para muestras inalteradas.

ID Calicata	(Kg/cm ²)	q_u (Kg/cm ²)	c (Kg/cm ²)	ϕ (°)	τ (Kg/cm ²)	N° de ensayos
1.00	0.45	6.5-12.4	3.25-6.2	21.00	3.42-6.37	10.00
2.00	0.44	3.6-8.7	1.8-4.35	21.00	1.97-4.52	10.00
3.00	0.44	6-11.8	3-5.9	21.00	3.17-6.07	10.00
4.00	0.45	9.3-11.8	4.65-5.90	21.00	4.82-6.07	10.00

En lo que respecta a la determinación de la rigidez y el módulo de Young de las muestras inalteradas, fue implementado un instrumento llamado Geo Gauge H-4140, este proporciona dichos parámetros que indican propiedades estructurales y medidas de resistencia a la flexión del suelo. Cabe mencionar que se hicieron diez lecturas tanto de módulos de elasticidad, así como de rigidez por cada muestra inalterada con el objetivo de incrementar la confiabilidad en los resultados y disminuir márgenes considerables de errores.



CAPITULO 6: ANALISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS

A continuación se presentan los resultados del cálculo de las deformaciones por tracción o compresión en función de esfuerzos cortantes-módulo de rigidez, así como los desplazamientos verticales a partir de las deformaciones unitarias longitudinales en función de esfuerzos normales-módulo de elasticidad y posteriormente se brindaran los resultados sobre el cálculo de las intensidades de presiones de contacto que se dan en cada muestra de suelo, haciendo uso de la teoría de la elasticidad, considerando un tipo de cimentación superficial.

Tabla 6. 3. Calculo de distribución de presiones en función de asentamientos elásticos en muestras inalteradas.

ID	G (Kg/cm)	E (Kg/cm ²)	γ (cm)	ΔH (cm)	B (cm)	Ip	μ	q (Kg/cm ²)
C-1	3171-4140	275-359	0.0009-0.0019	0.037-0.049	120.00	1.12	0.30	0.110
C-2	3569-5986	310-519	0.0003-0.0013	0.025-0.043	120.00	1.12	0.30	0.107
C-3	5333-7209	463-625	0.0006-0.0011	0.021-0.029	120.00	1.12	0.30	0.108
C-4	6577-9493	570-823	0.0006-0.0009	0.016-0.024	120.00	1.12	0.30	0.109

6.3.2. Análisis de resultados obtenidos.

- Calculo de la resistencia de corte dada por la ecuación de Coulomb para las muestras inalteradas.

Según los análisis de resultados para la primera muestra corresponden a esfuerzos efectivos de 0.45 Kg/cm², con esfuerzos a la compresión axial que oscilan entre 6 y 12 Kg/cm² y con esfuerzos cortantes entre 3 y 6 Kg/cm². En lo correspondiente a la muestra de la calicata No. 2 corresponde a una arena arcillosa SC, presentando esfuerzos efectivos de 0.44 Kg/cm² y valores entre 4 y 9 Kg/cm² para esfuerzos de compresión axial, con esfuerzos cortantes comprendidos entre 2 y 5 Kg/cm². Para las calicatas No. 3 y 4 respectivamente se presentan esfuerzos efectivos equivalentes a 0.44 y 0.45 Kg/cm², con esfuerzos cortantes entre 3 y 6 Kg/cm² y con esfuerzos cortantes entre 5 y 6 Kg/cm².



- Determinación de la rigidez de capa y módulo de elasticidad usando el GEO GAUGE H-4140 para cada muestra inalterada.

Según los resultados obtenidos por cada muestra de las 4 calicatas en estudio se determinó que las mayores rigideces se encuentran presentes en las muestras de las calicatas No. 3 y 4, dichos valores corresponden a un promedio para rigidez (S.I.S) = 5.955, 7.857 MN/m correspondiente a la muestra de la calicata No. 3; y para la muestra inalterada de la calicata No. 4 valores de Módulo de Young (S.I.Y) = 51.648, 68.146 MPa respectivamente.

- Determinación de las intensidades de presiones máximas en función de los asentamientos elásticos máximos.

En el análisis de asentamiento e intensidad de presión, el factor de influencia vertical es totalmente dependiente de la geometría de la cimentación, la cual en nuestro caso se consideró de forma cuadrada de tipo zapata aislada, y el coeficiente de Poisson se consideró con respecto a la tipología de suelo de la muestra en estudio.

Las intensidades de presiones y asentamientos fueron calculados con respecto al peso propio de los suelos en cada muestra inalterada utilizando la teoría elástica, obteniendo así como valor máximo de asentamiento 0.049 cm en función de un módulo de elasticidad mínimo de 275 Kg/cm² dada una deformación angular o de cizalladura máxima de 0.001864 cm. Bajo estos parámetros la intensidad de presión máxima dada con respecto al número total de muestras inalteradas fue de 0.110 Kg/cm². Los valores tanto de los asentamientos así como de las intensidades de presiones son pequeños, ya que no se cuenta con un sistema de Estructura-Cimentación, sino simplemente con los esfuerzos efectivos o esfuerzos propios verticales de cada estrato de suelo, obviando así el factor carga que se diese en la cimentación. Además podemos decir que a medida que se incrementen las deformaciones angulares en un suelo, el módulo de rigidez disminuye y el factor amortiguamiento aumenta.



6.4.Recomendaciones técnicas para el desarrollo constructivo de obras verticales en el municipio de San Juan de Oriente.

En los últimos años, el municipio de San Juan de Oriente un desarrollo considerable en sus actividades tales como: habitacional, comercio, construcciones, industria y otros rubros; aumentando de manera considerable la población. Lo anteriormente descrito sumado a la constante actividad sísmica, incrementa la demanda de viviendas de calidad constructiva. Por tal razón se ve la necesidad de realizar estudios de suelos para cimentaciones de nuevas edificaciones en el área urbana y semi-urbana, con el fin de evitar posibles daños y fallas del suelo a la capacidad de soporte, asentamientos diferenciales, compresibilidad, saturación, etc.

Según el presente estudio, este municipio presenta la siguiente tipología de suelo: Suelos areno-limosos, suelos areno-arcillosos y suelos gravo-limosos en menor porcentaje. Por lo que tenemos que tener en cuenta que las arcillas son eminentemente plásticas, esto representa suelos desfavorables y compresibles para la construcción en distintas zonas del municipio.

Tanto para un diseño óptimo, así como también para un proceso de ejecución eficiente, es importante realizar distintos planteamientos y soluciones adecuadas del tipo de cimentación a utilizar en la relación Estructura-Cimentación. Por tal motivo se presentan a continuación algunas recomendaciones técnicas tanto para un correcto uso del suelo como material para terraplenes, o bien para cimentaciones, en base al procesamiento de datos, conclusiones y comentarios previamente realizados en todo el cuerpo del presente documento:

- El tipo de suelo areno limoso son muy susceptibles a los problemas de erosión, socavación, y a disminuir su resistencia al esfuerzo cortante, por lo que se recomienda mejorar el tipo de suelo con un tratamiento ligante y confinante, de esta forma se vuelve apto para cimentación.
- Cuando los tipos de suelos areno arcillosos se utilizaran como suelos de cimentación, se deberá controlar su contenido de humedad, ya que son muy susceptibles a los cambios volumétricos cuando se saturan o se secan.



- Para arenas arcillosas con un porcentaje considerable de finos, se recomienda combinar con otros suelos arenosos y estabilizarlos mediante compactación, con el fin de disminuir el índice de plasticidad.
- Se recomienda evitar el efecto de saturación bajo carga en el caso de los suelos arenos limosos, ya que esto provocaría asentamientos bruscos en la cimentación, esto se debe a la disminución del grado de permeabilidad y el aumento de la compresibilidad del suelo.
- En el caso de la combinación del suelo: grava-limosa, se recomienda que al material se le aplique algún método de compactación, esto con el objetivo de minimizar asentamientos y reducir esfuerzos.
- Para suelos granulares, los cuales son nuestros casos, se recomienda realizar el ensayo de compactación de suelos haciendo uso del ensayo de laboratorio: Determinación de densidad relativa, ya que este ensayo relaciona la compacidad en estado natural con las densidades máximas y mínimas, en cambio el ensayo de compactación Proctor se inclina a suelos con partículas más finas.



7. CAPÍTULO 7: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

La investigación geotécnica realizada para determinación de la resistencia de corte de los suelos de las comarcas: Buena vista, El Castillo N°1, Garnacha y Calle Campo Deportivo, municipio de San Juan de Oriente, departamento de Masaya, concluye conforme a sus objetivos planteados que:

- En lo correspondiente a las excavaciones de las calicatas se encontraron 13 estratos de suelos conformados de la siguiente manera: Calicata 1 (4 estratos), calicata 2 (4 estratos), calicata 3 (2 estratos), y calicata 4 (3 estratos). Es importante mencionar que a la profundidad en estudio 2.1 metros no se encontró nivel freático.
- El suelo en su estado natural presento humedades que varían entre el 14.199% y 62.338% predominando los mayores porcentajes de humedades en los estratos superficiales. La gravedad específica se encuentra dentro de los rangos establecidos para arenas limosas y arenas arcillosas poco plásticas (2.65 – 2.73).

La composición granulométrica está constituida por: 22% de gravas, 63% de arenas y 15% de partículas finas como limos y arcillas según la clasificación con forme al análisis por tamizado y los límites de Atterberg. Conforme al análisis granulométrico por el método del hidrómetro se determinó mediante la ley de Stokes que los mayores diámetros corresponden a 0.0607, y siendo 0.0012 los diámetros de menor tamaños. El suelo es medianamente plástico ya que el 60% de los estratos en estudio presentan índice de plasticidad ($1 < IP < 7$), con excepción en tres estratos de suelos que se encontraron suelos altamente plásticos con ($IP > 15$), 15.16, 24.10 y 16.40 respectivamente. Las densidades secas máximas obtenidas oscilan entre 1.8 y 2.2 g/cm³, y las humedades óptimas de compactación están por debajo del límite plástico.



CAPITULO 7: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (S.U.C.S), podemos clasificar cada muestra de suelo analizada en el siguiente rango: arenas limosas mal graduadas de alta plasticidad y caracterizadas por ser muy compresibles (SP-SM), arenas arcillosas (SC) de baja y alta plasticidad y con poco o nada compresibilidad según su límite líquido, una grava limosa mal graduada (GP-GM), caracterizada por tener alta plasticidad y muy compresible; una arena arcillosa bien graduada (SW-SC), con alta plasticidad y alta compresibilidad, así como también arena arcillosa mal graduada (SP-SC).

En el sistema de clasificación de la American Association of State Highway and Transportation Officials (A.A.S.H.T.O), se encontraron los siguientes tipos de suelos: (A-1-b), que son fragmentos de Piedra Grava y Arena, (A-2-4), que son Gravas y Arenas Limosas y Arcillosas, y por último dos tipos de suelos con partículas de suelos más finos (A-2-6) y (A-2-7), los cuales son suelos con partículas de Gravas y Arenas Limosas y Arcillosas.

- Los esfuerzos cortantes determinados en las muestras de cada una de las calicatas corresponden a los siguientes valores: Calicata No. 1 con tipo de suelo SP-SC con esfuerzos cortantes entre 3 y 6 Kg/cm²; Calicata No. 2 arena arcillosa SC, presentando los menores esfuerzos cortantes con respecto a las demás calicatas con valores entre 2 y 5 Kg/cm²; en lo correspondiente a la muestra inalterada de la calicatas No. 3 se obtuvieron valores de esfuerzo cortantes entre 3 y 6 Kg/cm², y en la calicata No. 4 se presentaron esfuerzos cortantes entre 5 Kg/cm² y 6 Kg/cm².

Al considerar un asentamiento elástico máximo de 0.049 cm, tomamos como criterio que dicho asentamiento es el asentamiento total que sufre el suelo, ya que el mismo presenta características granulares. Cabe mencionar que a mayor módulo de elasticidad en el suelo, menor serán las deformaciones verticales, esto se puede apreciar en las tablas de resultados del cálculo de deformaciones verticales y deformaciones por cortante (Ver tabla 6.3).



➤ RECOMENDACIONES.

- Para un mejor proceso de exploración de suelos, se recomienda utilizar el método de prueba de penetración normal (S.P.T.-ASTM D1586), con un número de golpes mayor de 30, ya que los esfuerzos de ruptura de compresión axial son mayores de 4 Kg/cm^2 , lo que indica un tipo de suelo duro. Al igual que se recomienda realizar un número considerable de perforaciones en el proceso de muestreo de suelos, esto con el objetivo de efectuar un análisis estadístico más confiable con respecto al levantamiento y procesamiento de datos.
- En el caso de la determinación del límite líquido y límite plástico, se recomienda evitar cantidades excesivas de agua en procesos de laboratorio en suelos arenos arcillosos, ya que este puede fluir como un semilíquido, y puede dificultar la elaboración de la mezcla pastosa, homogénea y de consistencia suave, esto nos indicaría un aumento incorrecto en los contenidos de humedad. Con respecto al sistema de clasificación de suelos AASHTO, así como el sistema de clasificación de suelos SUCS, muestran resultados cualitativos, por tal razón se recomienda que dichos resultados no sean utilizados para la determinación de propiedades ingenieriles (resistencia al corte, etc.), ni para la estimación de comportamiento carga-deformación del suelo o del sistema suelo-estructura.
- Para determinar la resistencia al esfuerzo cortante de un suelo, no basta con efectuar pruebas de corte directo o compresión simple, ya que estos experimentos suelen ser aplicados a los más sencillos de los casos que se presentan en la práctica: arena seca o arcillas puras, sino más bien se recomienda realizar la prueba de compresión triaxial, la cual puede darse en arenas y arcillas, o bien en combinación entre ellos para determinar las características de esfuerzo-deformación y de resistencia de los suelos.

Con respecto a los asentamientos, se recomienda como parte de complementación de este trabajo monográfico, determinar los asentamientos diferenciales con un método de cálculo



CAPITULO 7: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

de asentamiento en específico, y no con una aproximación en porcentaje del asentamiento total dependiente del tipo de suelo, contando un sistema Estructura-cimentación, ya que primeramente el asentamiento diferencial es más difícil de estimar al estar afectado tanto por la heterogeneidad del suelo, así también como por la capacidad de las estructuras para salvar las zonas blandas de la cimentación, y segundo porque así se podrá contar con valores de distorsiones angulares con respecto a la súper-estructura.



8. BIBLIOGRAFÍA.

- (s.f.). Obtenido de Sistemas de clasificacion de suelos:
<https://www.google.com.ni/#q=tablas+de+clasificacion+de+suelos+sucs+y+aashto>
- Alcaldia Municipal del municipio de San Juan de Oriente. (2014). Censo Municipal. Masaya, San Juan de Oriente, Nicaragua.
- Alfaro, L. D. (10 de Octubre de 2012). *Geotecnia*. Obtenido de http://www.academia.edu/8714742/PROPIEDADES_%C3%8DNDICES_DE_LOS_SUELOS
- Alvarez Machado, J. D., & Piccardo Nebiolo, A. R. (Mayo de 1988). Obtenido de Estudio de las arenas colapsibles de la region industrial de Matanzas (Estado Bolivar).
- Aragon, E. A., Galan Gaitan, M. C., Linarte Castillo, J. C., Reyes, C. M., Reyes Garcia, M. A., Sediles Martinez, M. B., . . . Bravo Aleman, N. I. (Septiembre de 2009). *Caracterizacion del municipio de Masaya*. Masaya, Nicaragua. Obtenido de Caracterizacion del municipio de Masaya.
- ASTM, AASHTO. (1971). Book of Standards. *AASHTO M145-66: Clasificacion de los suelos y mezclas de agregados de suelo para propositos de construccion de carreteras*. Philadelphia, Estados Unidos de America.
- ASTM, AASHTO. (1994). Book of Standards. *ASTM 423-66: Determinacion del limite liquido*. Philadelphia, Estados Unidos de America.
- ASTM, AASHTO. (1994). Book of Standards. *ASTM D424-59: Determinacion del limite plastico*. Philadelphia, Estados Unidos de America.
- ASTM, AASHTO. (1994). Book of Standards. *ASTM D427-61: Determinacion del limite de contraccion*. Philadelphia, Estados Unidos de America.
- ASTM, AASHTO. (1994). Book of Standards. *ASTM D854-58: Determinacion de gravedad especifica de los solidos*. Philadelphia, Estados Unidos de America.
- ASTM, AASHTO. (1994). Book of Standards. *ASTM D3080-72: Ensayo de corte directo*. Philadelphia, Estados Unidos de America.
- ASTM, AASHTO. (1994). Book of Standards. Philadelphia, Estados Unidos de America.
- ASTM,AASHTO. (1994). Book of Standards. *ASTM D421-58 y D422-63: Analisis Granulometrico por metodo mecanico*. Philadelphia., Estados Unidos de America.
- ASTM,AASHTO. (1994). Book of Standards. *ASTM D421-58 y D422-63: Analisis granulometrico por metodo del hidrometro*. Philadelphia, Estados Unidos de America.



CAPITULO 8: BIBLIOGRAFIA

- ASTM,AASHTO. (1994). Book of Standards. *ASTM 423-66: Determinacion del limite liquido*. Philadelphia, Estados Unidos de America.
- Bowles, J. E. (1980). Manual de laboratorios de suelos en Ingenieria Civil. Bogota, Colombia: McGRAW-HILL LATINOAMERICANA S.A.
- Calixto Rodriguez, E. D., & Rodriguez Castro, R. A. (30 de Octubre de 2013). Estudio a nivel de perfil del proyecto reemplazo de viviendas de interes social del Barrio Buena Vista Zona 4 del municipio de San Juan de Oriente, departamento de Masaya. Managua, Nicaragua.
- CivilGeeks. (s.f.). *Valores referenciales sobre diferentes propiedades del suelo*. Obtenido de <http://civilgeeks.com/2011/11/30/valores-referenciales-sobre-diferentes-propiedades-de-los-suelos/>
- Das, B. M. (1999). *Principio de Ingenieria de Cimentaciones*. Sacramento: International Thomson.
- Frankie. (25 de junio de 2013). *Estudios geotecnicos*. Obtenido de Suelos metaestables: determinacion del potencial de colapso en suelos colapsables: <http://www.estudiosgeotecnicos.info/index.php/suelos-colapsables/>
- Gallegos, O. (15 de Febrero de 2016). Determinacion de las características físicas y mecánicas de la arcilla para la elaboración de artesanía y cerámica precolombina. (Y. J. Lopez Beteta, & J. E. Lopez Sevilla, Entrevistadores)
- Gutierrez Aviles, J., & Cordero Andrade, A. E. (2002). Determinacion de características físicas y mecánicas de la Arcilla Negra (Sonsocuite). Managua, Nicaragua.
- Henriquez, S., Pedrals, A., & Valdés, P. (20 de Noviembre de 2009). *Casos de asentamientos inadmisibles en suelos finos*. Obtenido de <https://www.google.com.ni/#q=asentamientos+en+suelos+>
- HUMBOLDT. (s.f.). *Control de la compactacion del suelo en terreno mediante rigidez y modulo de Young*. Obtenido de Norma ASTM D6758: <https://www.google.com.ni/#q=geogauge>
- Instituto Nicaraguense de Fomento Municipal. (18 de Octubre de 2003). *Ficha Municipal, municipio de San Juan de Oriente, departamento de Masaya*. Obtenido de http://www.inifom.gob.ni/municipios/municipios_Masaya.html
- Jimenez R, L., & Soto Rosa, C. (23 de Mayo de 2002). Obtenido de Analisis microscopico de suelos colapsables de la region industrial de Matanzas.EDO.Bolivar.
- Juarez Badillo, E., & Rico Rodriguez, A. (2005). *Mecanica de Suelos I: Fundamentos de la Mecanica de Suelos*. Mexico, Mexico: LIMUSA.
- MATEST. (s.f.). *Seccion 5: Suelos*. Obtenido de <http://www.runco.com.ar/Geo-Gauge-H4140.html>



CAPITULO 8: BIBLIOGRAFIA

- Mayoral Villa, J. M., Romo Organista, M. P., Cardona Giraldo, L. C., Alberto Hernandez, Y., Vasquez Monroy, R. E., Gomez Frausto, J. A., & Cuenca Alfaro, B. R. (Diciembre de 2007). *Pruebas de laboratorio para determinar propiedades de los suelos*. Obtenido de <https://www.google.com.ni/#q=pruebas+de+laboratorio+para+determinar+propiedades+de+los+suelos>
- Moffat, R. (5 de Mayo de 2007). *Clase N°9: Fundaciones*. Obtenido de Mecánica de Suelos – Asentamientos | La guía de Física <http://fisica.laguia2000.com/dinamica-clasica/mecanica-de-suelos-asentamientos#ixzz4EPRTlbtX>
- Navarro, M. (15 de Diciembre de 2006). *Tema 6: Elasticidad*.
- Patiño, C. (02 de octubre de 2006). *Ensayo de corte directo*. Obtenido de https://www.google.com.ni/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwiT9en5y_DKAhXCJCYKHYZnCdCdcQFggaMAA&url=http%3A%2F%2Fcatarina.udlap.mx%2Fu_dl_a%2Ftales%2Fdocumentos%2Flic%2Fpatino_r_ca%2Fcapitulo3.pdf&usg=AFQjCNGDFws3PHqI4I7m1Jt
- Rochs, A. (11 de Junio de 2007). *Tablas de clasificacion de suelos*. Obtenido de Sistemas de clasificacion de suelos: <https://www.google.com.ni/#q=tablas+de+clasificacion+de+suelos+sucs+y+aashto>
- Schols Brownm, F. (12 de Junio de 2003). *Sistemas de clasificacion de suelos*. Obtenido de Clasifa suelos: https://www.google.com.ni/search?q=tablas+de+clasificacion+de+suelos+sucs+y+aashto&biw=1366&bih=677&source=lnms&tbm=isch&sa=X&sqi=2&ved=0ahUKEwimqPXwxtjOAhVCTSYKHUPdBIoQ_AUIBigB&dpr=1#imgsrc=fFIBqi1adf0kXM%3a
- Skemton, & McDonald. (1956). *Asentamientos admisibles en estructuras*.
- UPC. (s.f.). *Propiedades de los suelos*. Obtenido de http://www2.etcg.upc.edu/asn/geol/pdf_files/2.propsuel_txt.pdf
- Villalaz, C. C. (2004). *Mecanica de suelos y cimentaciones*. Mexico: Limusa.
- Wykeham Farrance. (25 de Mayo de 2009). *Mecanica de suelos*. Obtenido de Soil Mechanics Division of CONTROLS: http://www.controls-group.com/DownloadFileUrl.php?url=backend@@download@@file_upload@@file@@120503193770_26_31_es.pdf/nomefile=26_31_es.pdf
- Zelaya Rodriguez, A. M. (29 de Abril de 2009). *Diseño de estructura de pavimento utilizando adoquin en el municipio de San Juan de Oriente, Masaya, Managua, Nicaragua*.



9. ANEXOS.

Apéndice A. Encuesta socioeconómica para evaluación estructural de viviendas del municipio de San Juan de Oriente, departamento de Masaya.

Según una encuesta realizada por la Alcaldía de San Juan de Oriente en el año 2014, dicho municipio consta de 1362 viviendas para una población estimada de 7623 habitantes detalladas a continuación en la siguiente tabla:

No	Barrio o comarca	Total población	Nº. de viviendas
1	Buena vista	994 Habitantes	242
2	Zona N° 1 (Urbano)	680 Habitantes	122
3	Saratoga	372 Habitantes	53
4	Reparto David Salazar	1,268 Habitantes	192
5	Zona N° 2 (Urbano)	426 Habitantes	71
6	Los López	193 Habitantes	33
7	Reparto Luis Fernando Carballo	872 Habitantes	162
8	Zona N° 3 (Urbano)	858 Habitantes	143
9	Castillo N° 1	456 Habitantes	76
10	Castillo N° 2	441 Habitantes	83
11	Barrio el Corozo	228 Habitantes	25
12	Calle Campo Deportivo	450 Habitantes	75
13	Tempisque	278 Habitantes	60
14	Garnacha	107 Habitantes	25
	Población total	7,623 Habitantes	1362

✚ La densidad de la población es de 6 Hab/Viviendas.

A continuación se detallarán en las siguientes tablas y gráficos cada uno de los aspectos descritos en la realización de la encuesta, entre los cuales se encuentran principalmente la tipología estructural de las viviendas, uso de viviendas, etc.



CAPITULO 9: ANEXOS

Cabe mencionar que estos aspectos se tomaron de manera general para todo en municipio como tal que consta de 1362 viviendas.

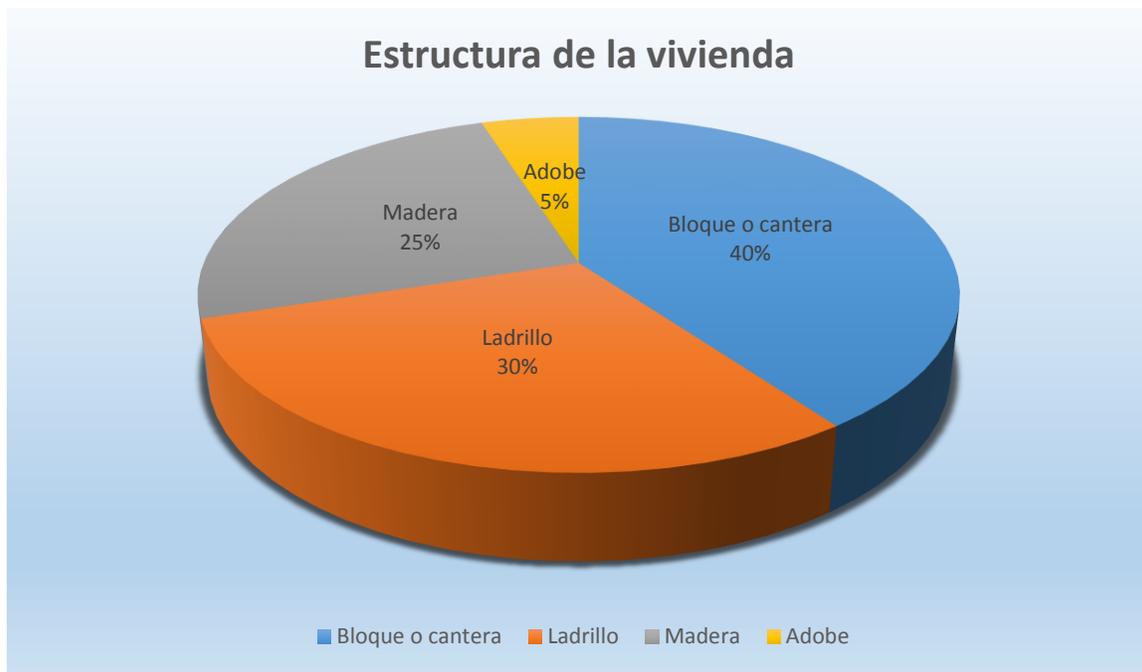
Tabla 10. 1. Encuesta socio-económica para evaluación estructural de las viviendas del municipio de San Juan de Oriente.

Parámetro	No. de viviendas	% del total
Estructura de la vivienda		
Bloque o cantera	545	40.01%
Ladrillo	409	30.03%
Madera	341	25.04%
Adobe	67	4.92%
Σ	1362	100.00%
Estructura de piso		
Tierra	409	30.03%
Ladrillo	654	48.02%
Madera	272	19.97%
Otros	27	1.98%
Σ	1362	100.00%
Estructura de techo		
Zinc	613	45.01%
Teja	341	25.04%
Madera	204	14.98%
Palma	163	11.97%
Otros	41	3.01%
Σ	1362	100.00%
Niveles de viviendas		
1	1335	98.02%
2	27	1.98%
>2	0	0.00%
Σ	1362	100.00%



Nivel de desplante		
0.2 m	68	4.99%
0.5 m	681	50.00%
0.8 m	272	19.97%
1 m	273	20.04%
> 1 m	68	4.99%
Σ	1362	100.00%
Estado de la vivienda		
Buena	1022	75.04%
Regular	272	19.97%
Mala	68	4.99%
Σ	1362	100.00%
Sistema constructivo		
Mampostería Confinada	613	45.01%
Mampostería Reforzada	204	14.98%
Media falda	409	30.03%
Otros	136	9.99%
Σ	1362	100.00%
Uso de viviendas		
Hospedaje	1090	80.03%
Comedor	68	4.99%
Escuela	7	0.51%
Iglesia	7	0.51%
Taller	109	8.00%
Otros	81	5.95%
Σ	1362	100.00%

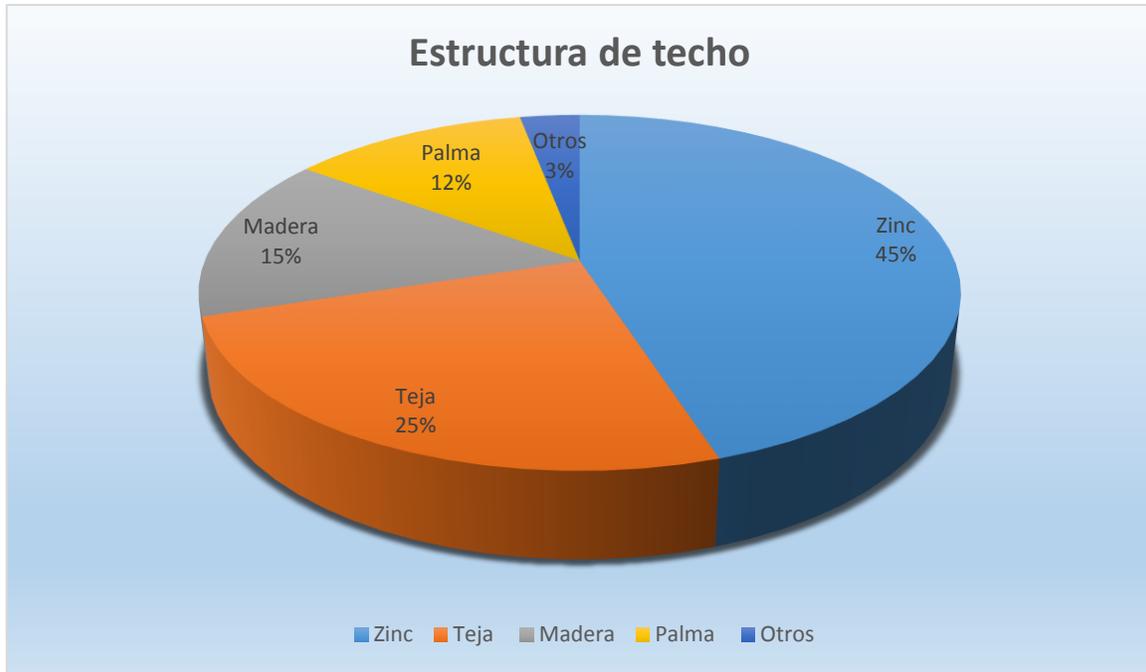
Fuente: (Alcaldía Municipal del municipio de San Juan de Oriente, 2014).



Grafica 9. 1. Tipos de materiales de construcción en las viviendas del municipio de San Juan de Oriente (Alcaldía Municipal del municipio de San Juan de Oriente, 2014).



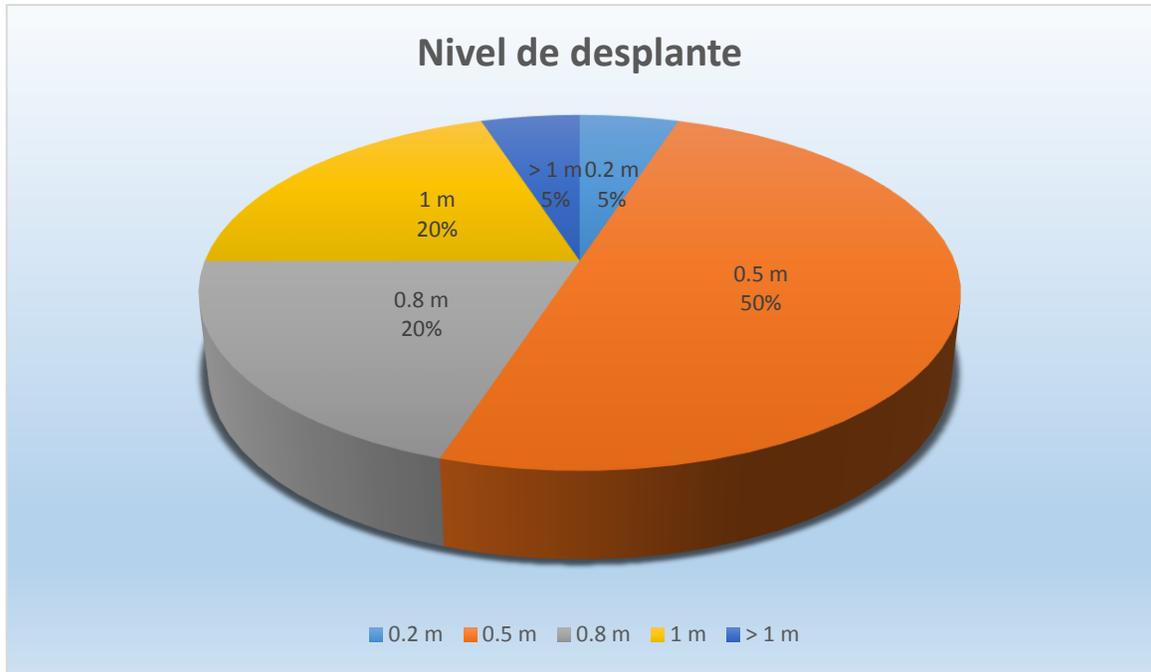
Grafica 9. 2. Tipos de materiales en la estructura de piso de las viviendas del municipio de San Juan de Oriente (Alcaldía Municipal del municipio de San Juan de Oriente, 2014).



Grafica 9. 3. Tipos de materiales en la estructura de piso de las viviendas del municipio de San Juan de Oriente (Alcaldía Municipal del municipio de San Juan de Oriente, 2014).



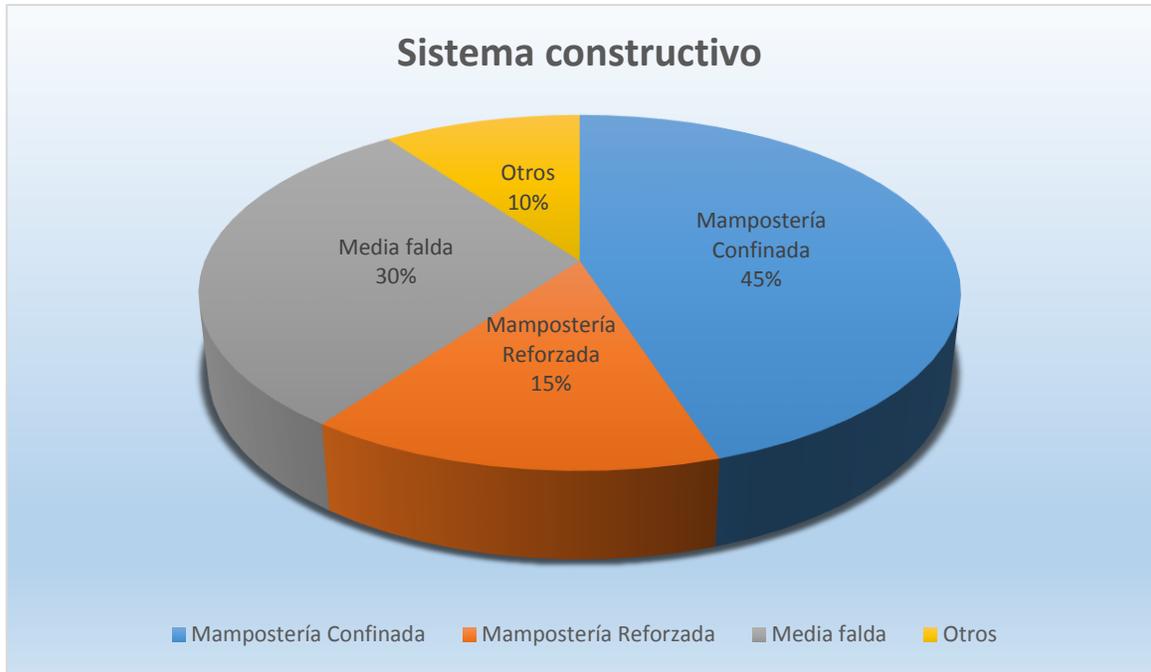
Grafica 9. 4. Niveles de viviendas del municipio de San Juan de Oriente (Alcaldía Municipal del municipio de San Juan de Oriente, 2014).



Grafica 9. 5. Nivel de desplante de las viviendas del municipio de San Juan de Oriente (Alcaldía Municipal del municipio de San Juan de Oriente, 2014).



Grafica 9. 6. Evaluación de viviendas del municipio de San Juan de Oriente (Alcaldía Municipal del municipio de San Juan de Oriente, 2014).



Grafica 9. 7. Tipos de sistemas constructivos de las viviendas del municipio de San Juan de Oriente (Alcaldía Municipal del municipio de San Juan de Oriente, 2014).



Grafica 9. 8. Uso de viviendas del municipio de San Juan de Oriente (Alcaldía Municipal del municipio de San Juan de Oriente, 2014).



CAPÍTULO 9: ANEXOS

Apéndice B.Formato de levantamiento de datos in situ durante el proceso de exploración de suelos.

Departamento	Masaya	Ubicación de la calicata:
Municipio	San Juan de Oriente	
Cuadrante		Dimensiones del pozo: 1.50 m× 1.50 m× 2.10 m.
Ubicación		Dimensiones de la muestra inalterada:
		Profundidad para toma de muestras inalteradas:
Profundidad de cada estrato (m)	Profundidad del pozo (m)	Descripción
	2.10	



Apéndice C. Formatos para levantamiento de datos en pruebas de laboratorio.

a) Prueba de laboratorio: Determinación del contenido de humedad.

Nombre del laboratorio	Determinación de contenido de humedad					
Proyecto						
Sondeo No.				Fecha		
Muestra No.	1	2	3	4	5	6
Profundidad de la muestra(m)						
Peso de tara (gr)						
Código de la tara						
Peso de la muestra húmeda(gr)						
Peso de la muestra seca(gr)						
Peso del agua(gr)						
Contenido de humedad (%)						
Realizado por						
Revisado por						



CAPITULO 9: ANEXOS

b) Prueba de laboratorio: Determinación del peso específico relativo de los sólidos.

Nombre del laboratorio	Determinación de gravedad específica					
	Proyecto					
Sondeo No.				Fecha		
Muestra No.	1	2	3	4	5	6
Profundidad de la muestra(m)						
Código de la tara						
Peso del frasco(gr)						
Temperatura(°C)						
Volumen del frasco(cm ³)						
Peso de la muestra húmeda(gr)						
Peso del frasco +suelo +agua(gr)						
Peso del frasco + agua(gr)						
Peso de la muestra seca(gr)						
Gravedad específica						
Realizado por						
Revisado por						



c) Prueba de laboratorio: Análisis granulométrico de los suelos por método del tamizado.

Nombre del laboratorio		Determinación del análisis granulométrico por método mecánico.		
Proyecto				
Sondeo No.		Fecha		
Profundidad de la muestra (m).			Muestra No.	
W granulometría grande (gr)		W granulometría pequeña (gr)		
Material retenido en el tamiz No.4.				
Tamiz No.	Peso Retenido Parcial (gr)	% Retenido Parcial(gr)	% Retenido Acumulado (gr)	% Que Pasa por el tamiz
3''				
2 1/2''				
2''				
1 1/2''				
1''				
3/4''				
1/2''				
3/8''				
No.4				



CAPITULO 9: ANEXOS

Tamiz No.	Peso Retenido Parcial (gr)	% Retenido Parcial(gr)	% Retenido Acumulado (gr)	% Que Pasa por el tamiz
PASA No.4				
Suma				
Material que pasa en el tamiz No.4.				
Tamiz No.	Peso Retenido Parcial (gr)	% Retenido Parcial(gr)	% Retenido Acumulado (gr)	% Que Pasa por el tamiz
8				
10				
20				
40				
60				
100				
200				
PASA No.200				
Suma				
Lavado por No.200				
Peso seco de muestra				
Peso seco de muestra lavada				



CAPITULO 9: ANEXOS

Diferencia		
Pasa No.200		
Realizado por		
Revisado por		



Tiempo	Tiempo transcurrido (min)	Temperatura (°C)	R'	R	L	D (mm)	Ct	R-Cd+C t	Porcentaje más fino	
									Parcial	Total
Wo:						Gs:				
Realizado por										
Revisado por										



CAPITULO 9: ANEXOS

e) Prueba de laboratorio: Determinación de los límites de consistencia de los suelos o límites de Atterberg.

Nombre del laboratorio	Determinación del límite líquido-plástico					
Muestra No.						
Proyecto						
Sondeo No.				Fecha		
Ensaye No.	1	2	3	4	5	6
Código de la tara						
No. De golpes						
Peso de tara (gr)						
Peso de la muestra húmeda(gr)						
Peso de la muestra seca(gr)						
Peso de muestra húmeda + tara (gr)						
Peso de muestra seca + tara (gr)						
Peso del agua(gr)						
Contenido de humedad (%)						
Realizado por						
Revisado por						



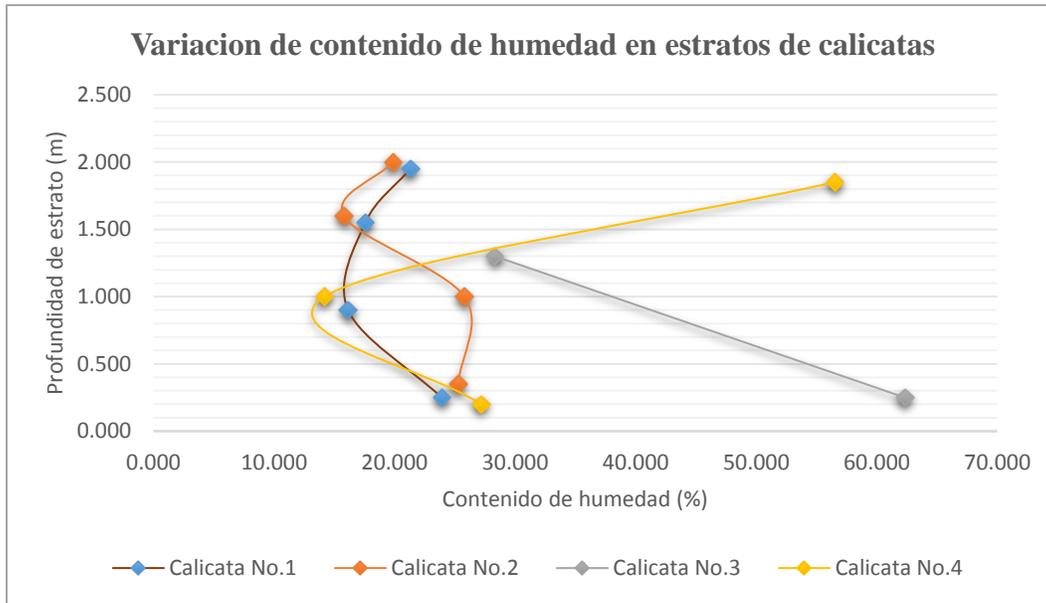
f) Prueba de laboratorio: Compactación de suelos "Proctor Modificado".

Nombre del laboratorio	Prueba de compactación de suelos "Proctor modificado"				
	1	2	3	4	5
Ensaye No.					
Altura del molde (cm)					
Diámetro del molde (cm)					
Volumen del molde (cm ³)					
Peso del material compactado (gr)					
Peso de tara (gr)					
Peso tara + material húmedo (gr)					
Peso tara + material seco (gr)					
Contenido de humedad (gr)					
Densidad húmeda (gr/cm ³)					
Densidad seca (gr/cm ³)					
Densidad máxima (gr/cm ³)					
Humedad óptima (%)					



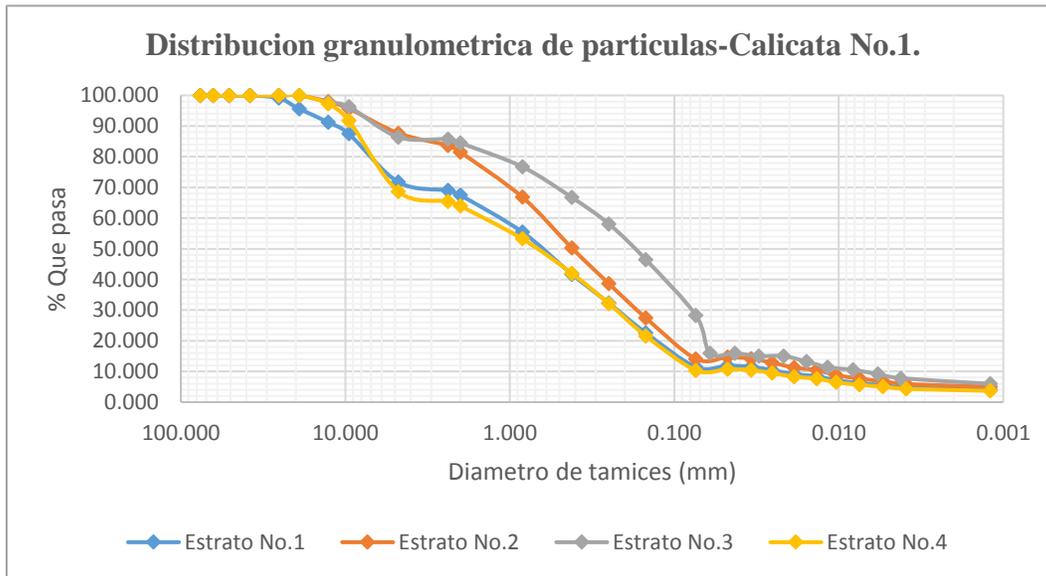
Apéndice D. Gráficas de pruebas de laboratorio.

a. Variación de porcentajes de humedad en estratos.

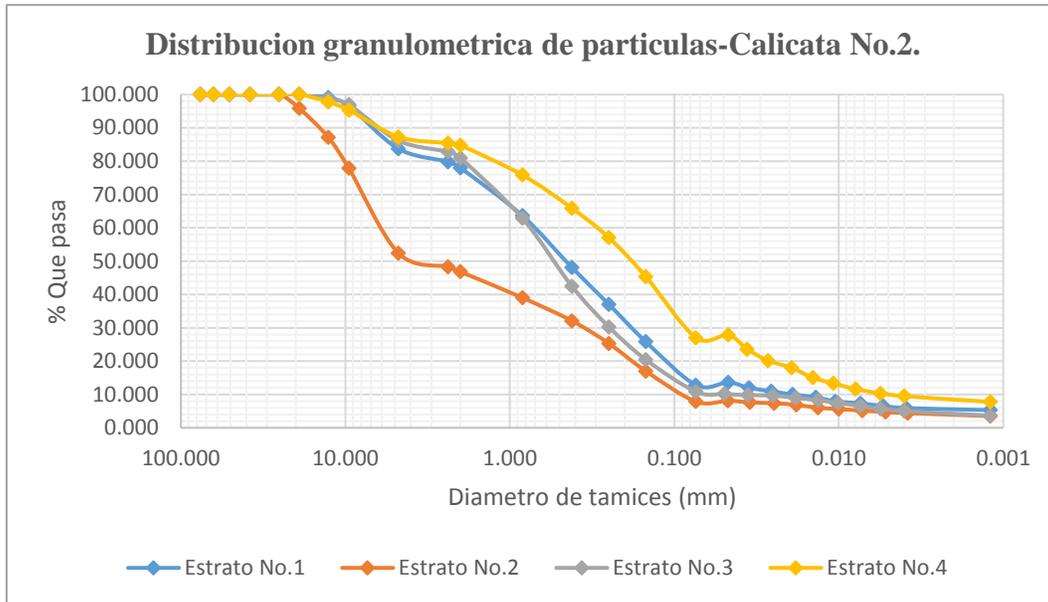


Grafica 9. 9. Variación de contenidos de humedad en función de las profundidades de los estratos de las calicatas.

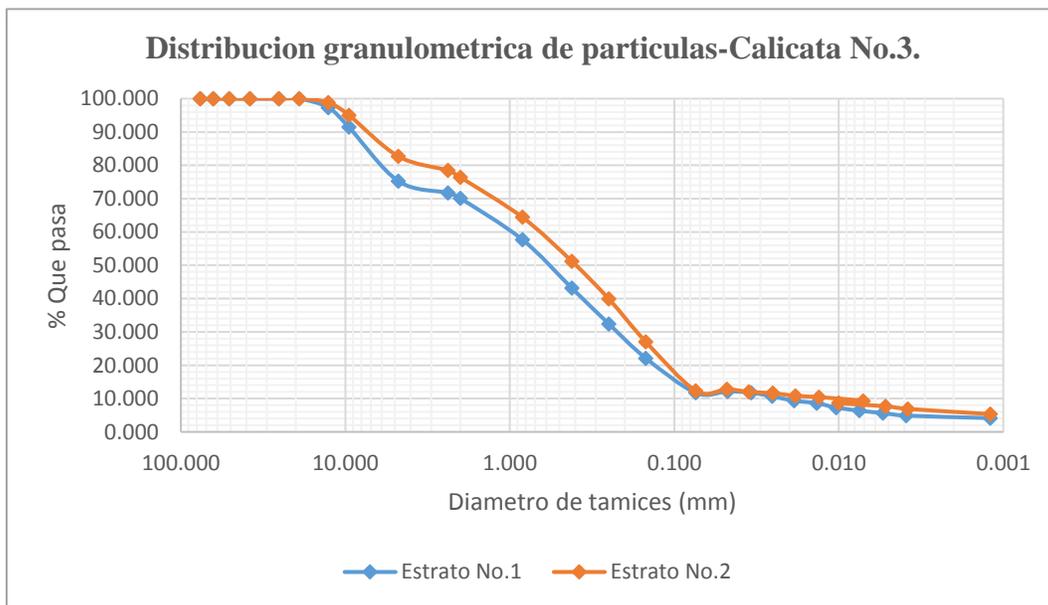
b. Distribución granulométrica de partículas.



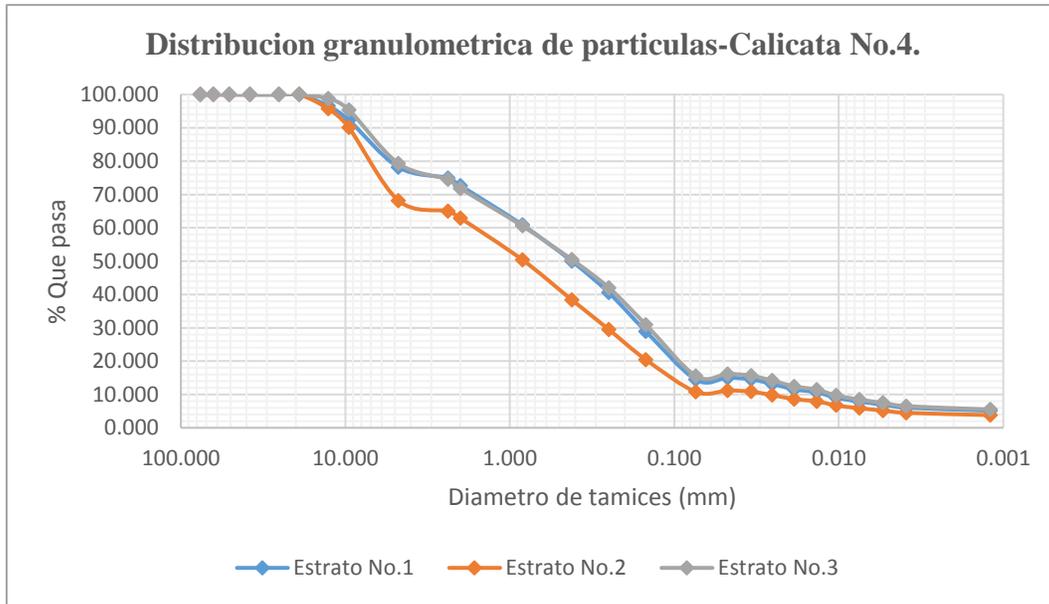
Grafica 9. 10. Distribución granulométrica de partículas-Calicata N°1.



Grafica 9. 11. Distribución granulométrica de partículas-Calicata N°2.

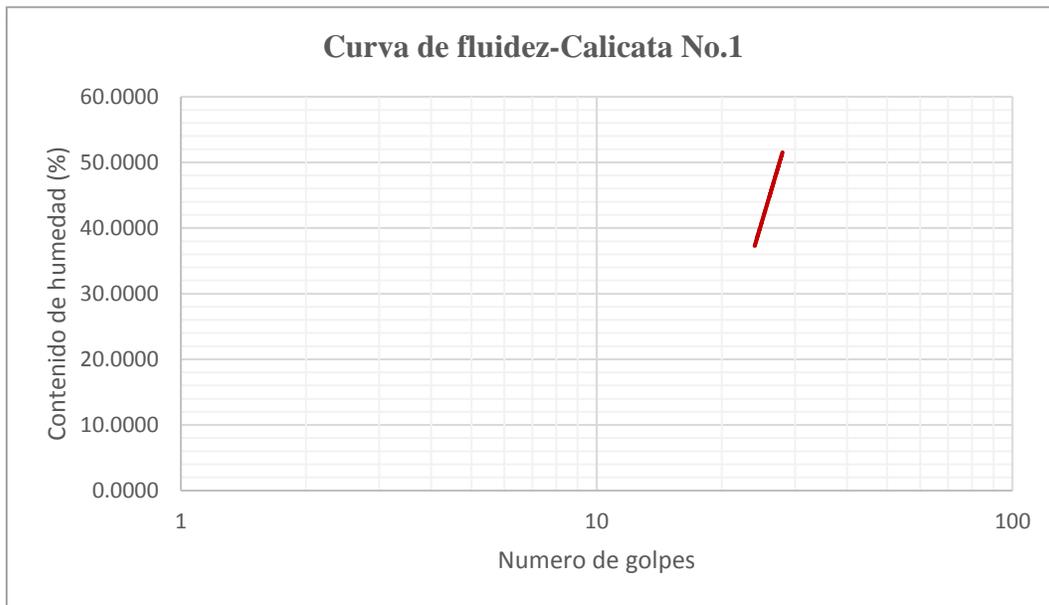


Grafica 9. 12. Distribución granulométrica de partículas-Calicata N°3.

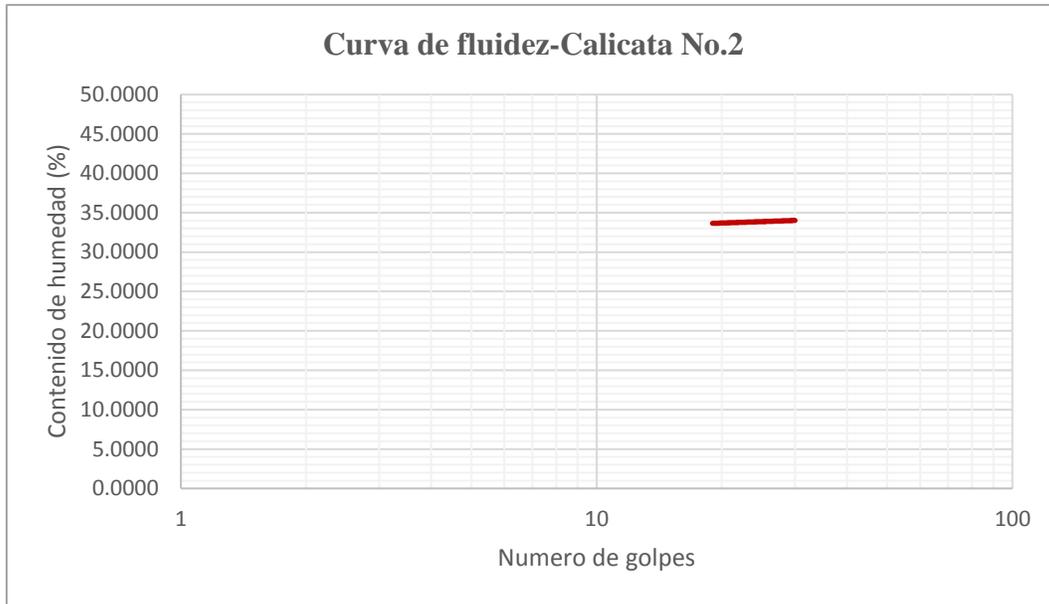


Grafica 9. 13. Distribución granulométrica de partículas-Calicata N°4.

c. Curvas de fluidez en cada calicata.



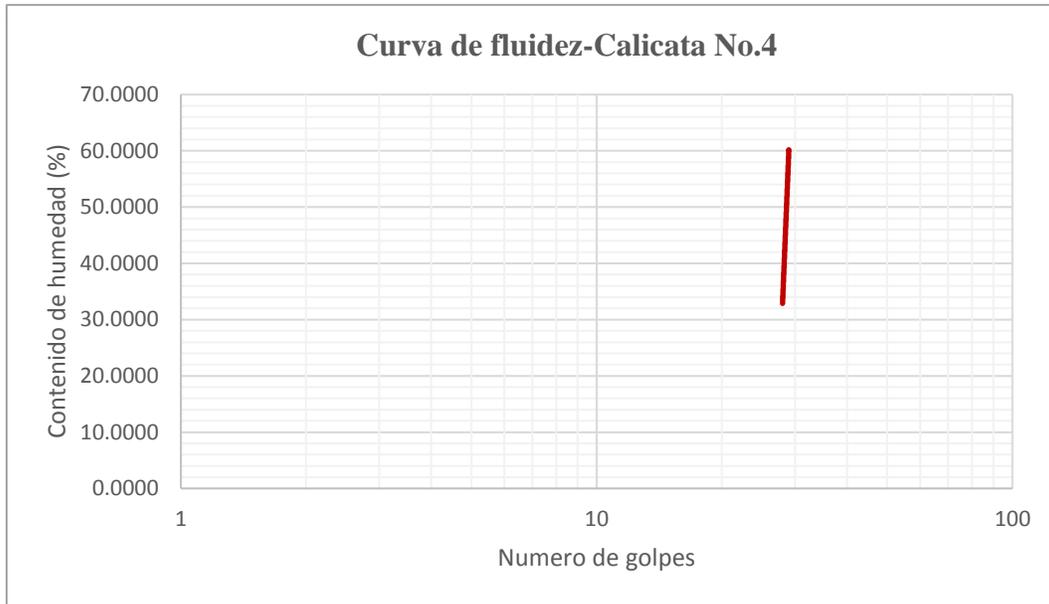
Grafica 9. 14. Curva de fluidez-Calicata N°1.



Grafica 9. 15. Curva de fluidez-Calicata N°2.

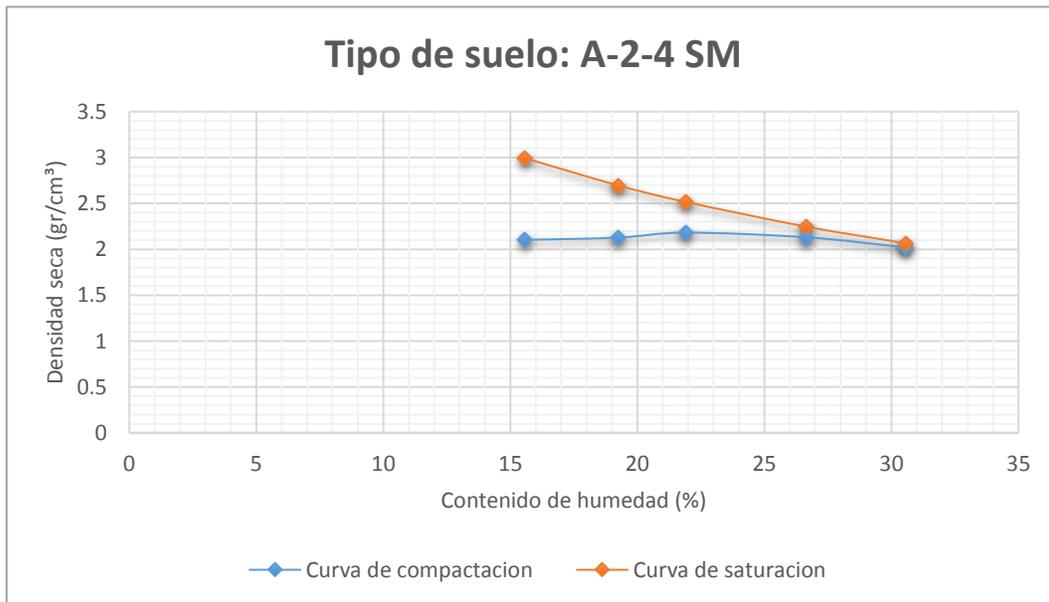


Grafica 9. 16. Curva de fluidez-Calicata N°3.

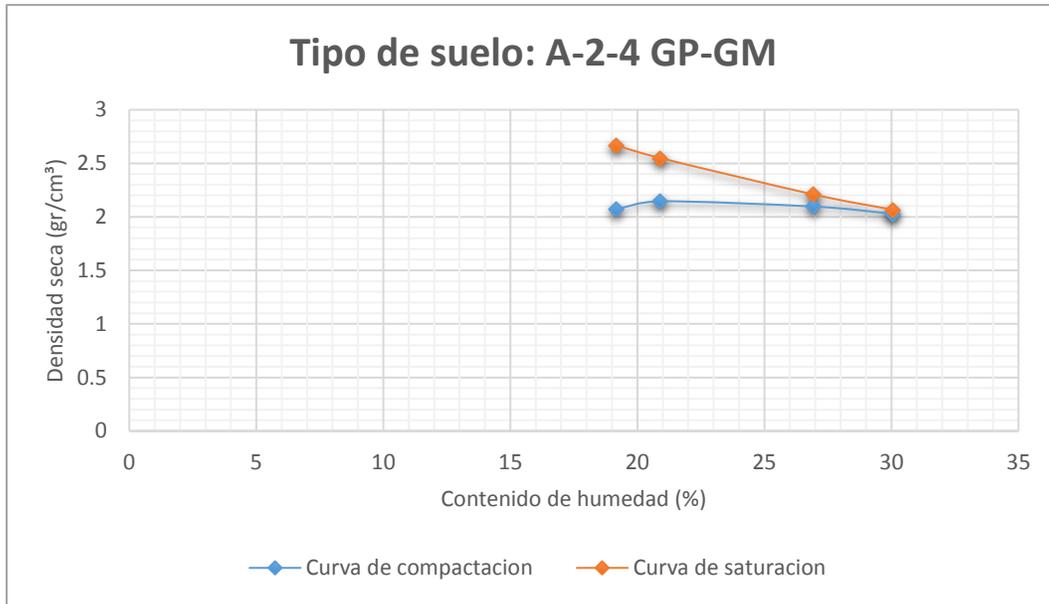


Grafica 9. 17. Curva de fluidez-Calicata N°4.

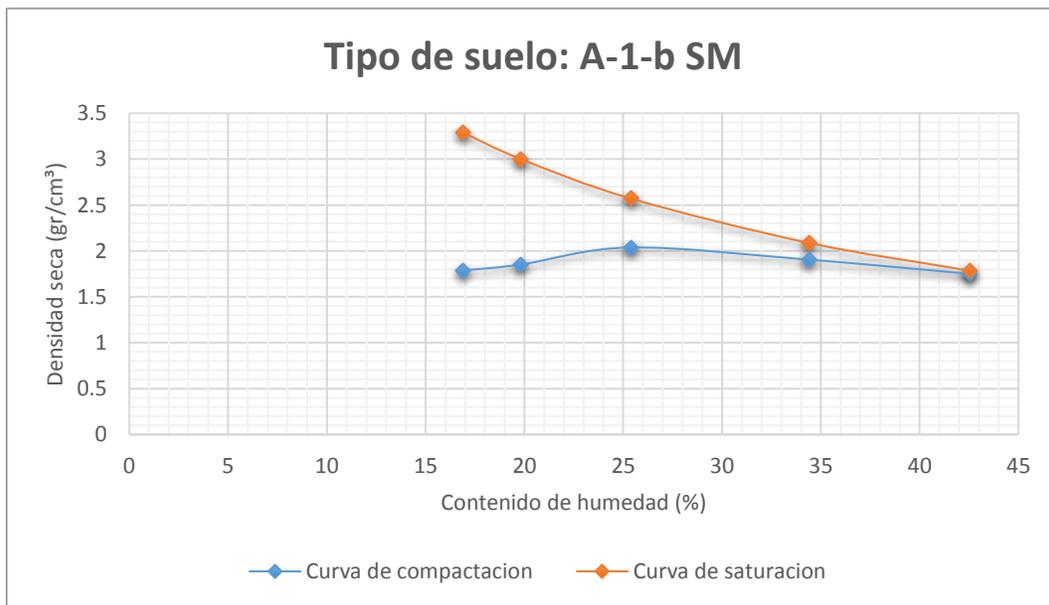
d. Curvas de compactación y saturación con respecto a la tipología de suelo.



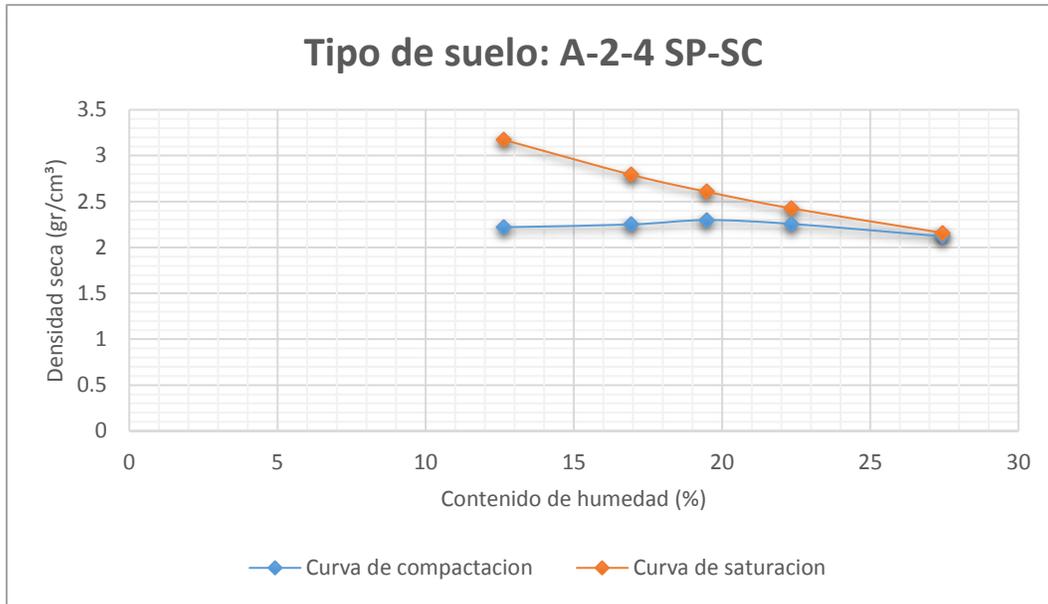
Grafica 9. 18. Curva de compactación y curva de saturación para arena limosa Tipo 1.



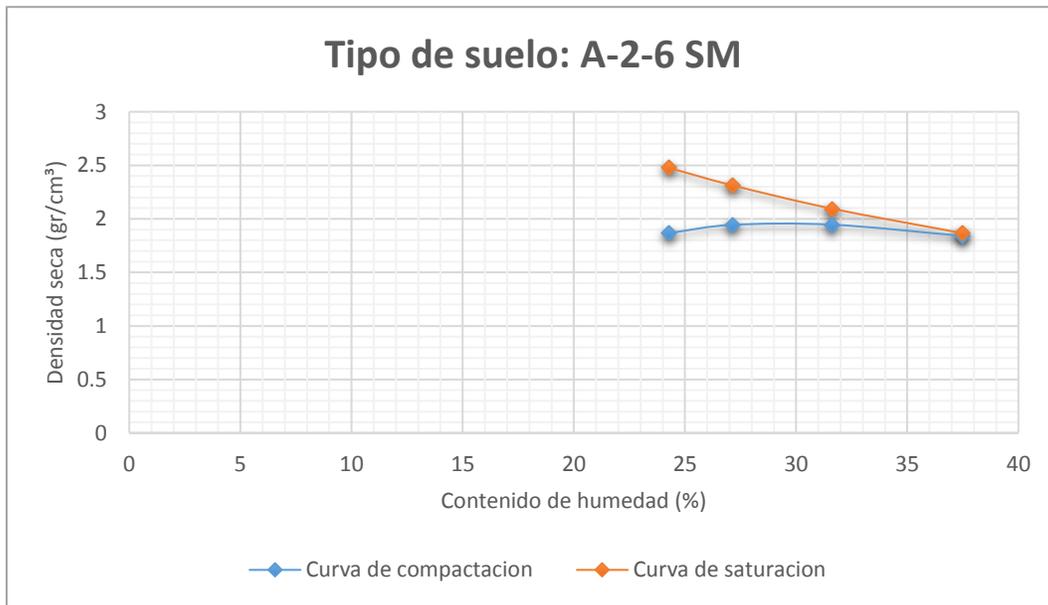
Grafica 9. 19. Curva de compactación y curva de saturación para grava limosa Tipo 1.



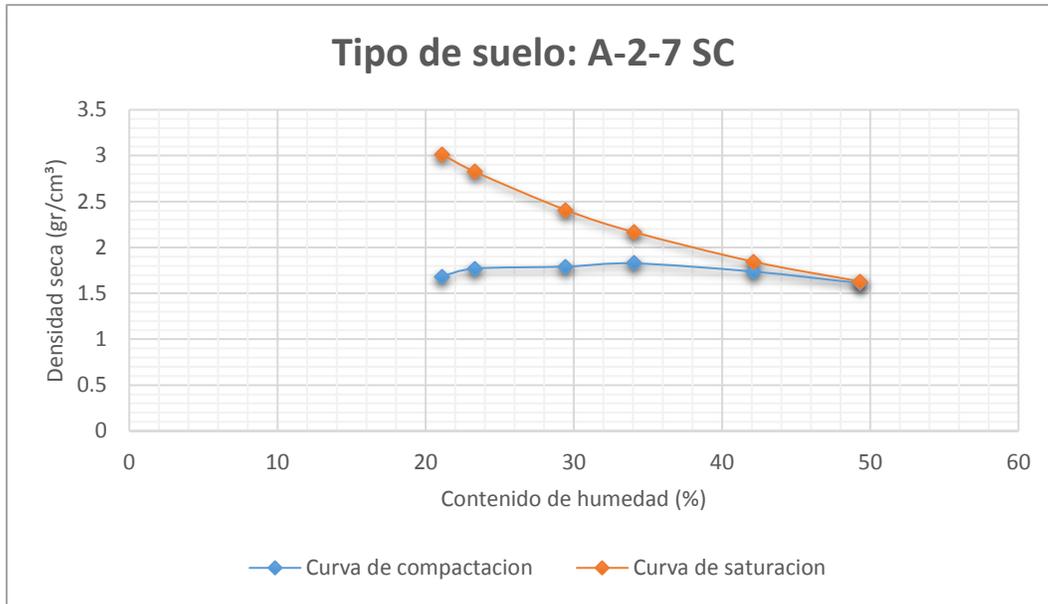
Grafica 9. 20. Curva de compactación y curva de saturación para arena limosa Tipo 2.



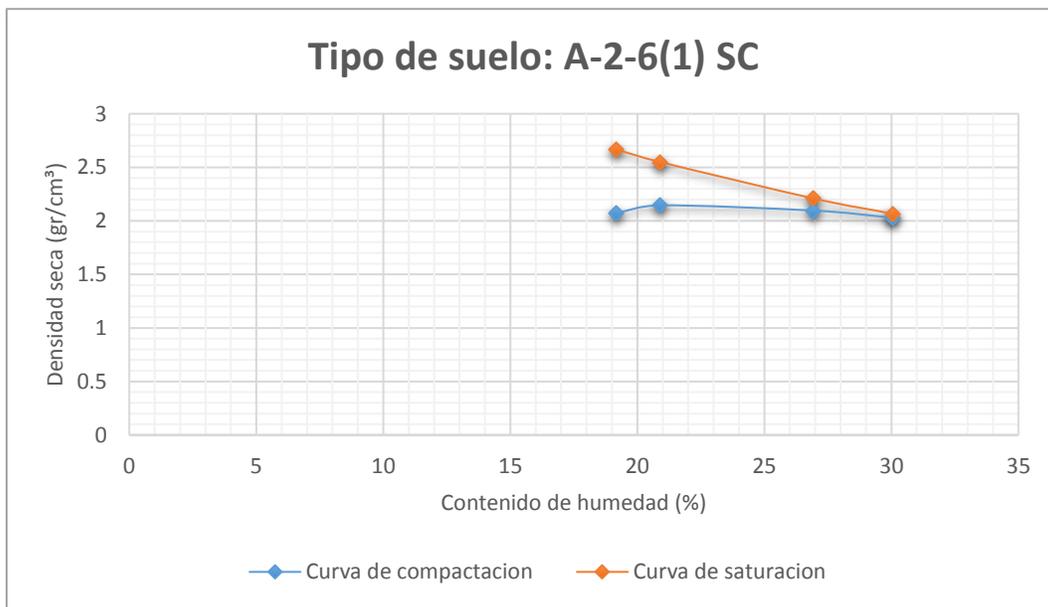
Grafica 9. 21. Curva de compactación y curva de saturación para arena arcillosa Tipo 1.



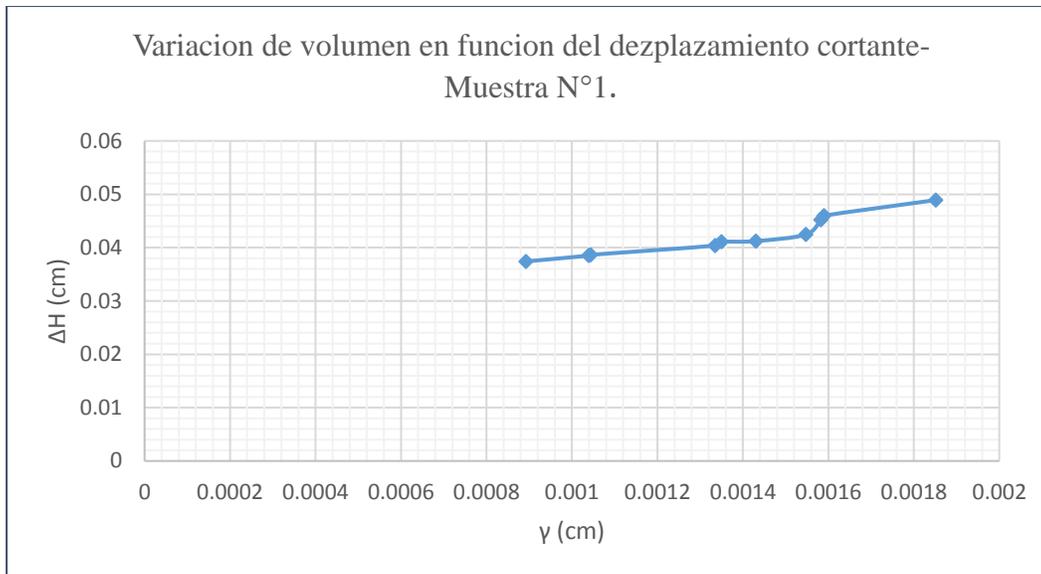
Grafica 9. 22. Curva de compactación y curva de saturación para arena limosa Tipo 3.



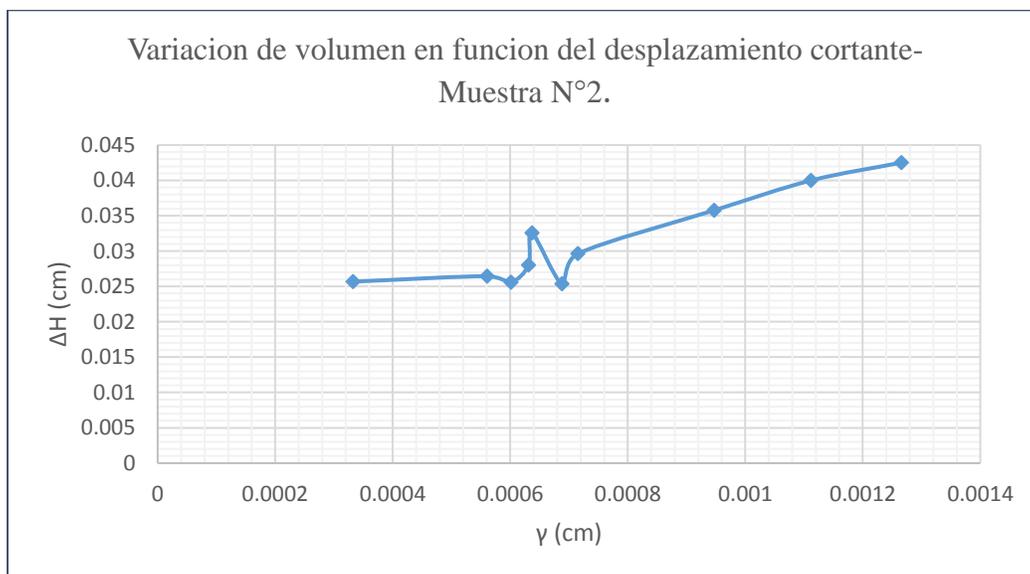
Grafica 9. 23. Curva de compactación y curva de saturación para arena arcillosa Tipo 2.



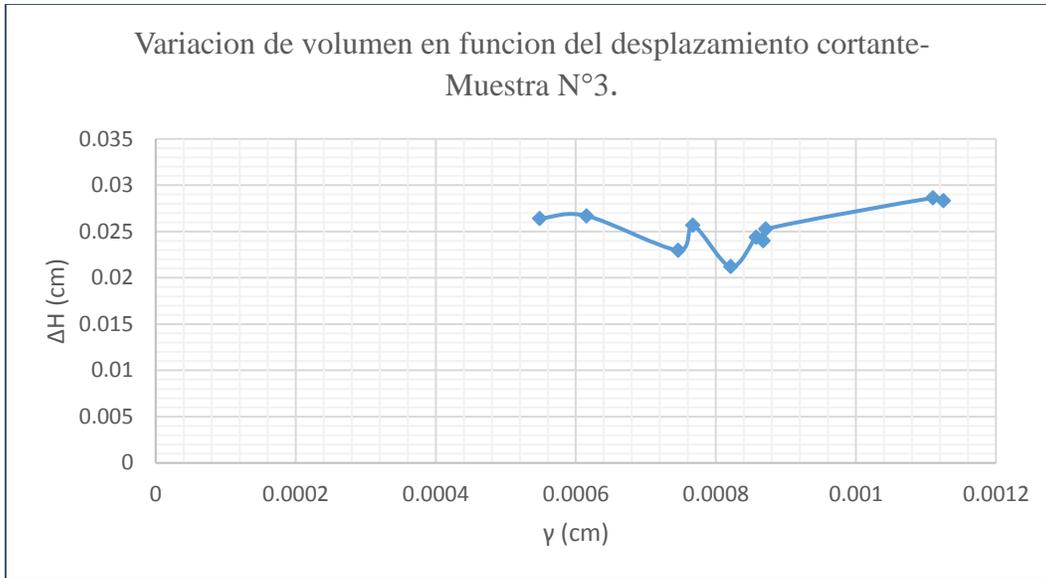
Grafica 9. 24. Curva de compactación y curva de saturación para arena arcillosa Tipo 3.



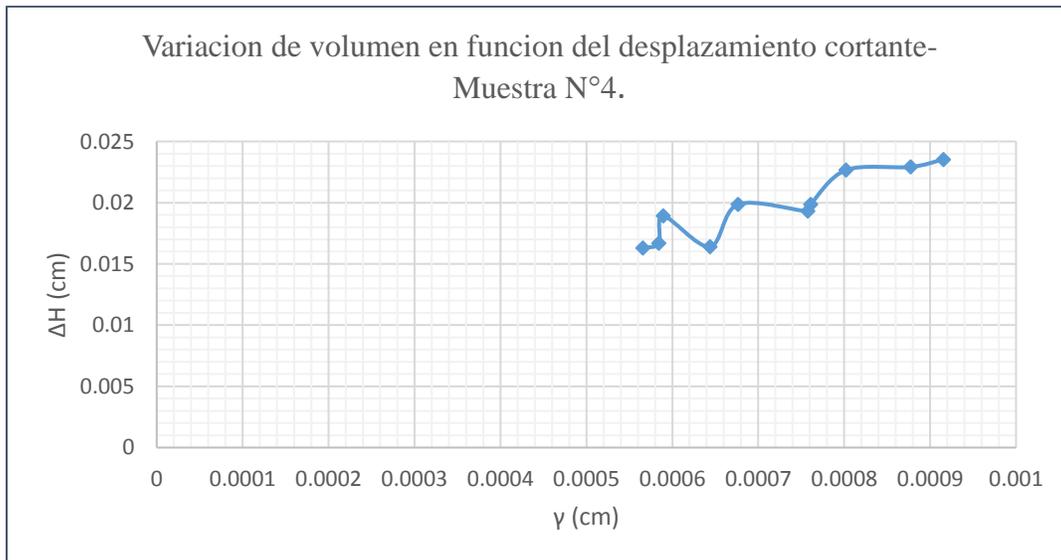
Grafica 9. 25. Variabilidad de deformación longitudinal en función de la deformación cortante en la Muestra N°1.



Grafica 9. 26. Variabilidad de deformación longitudinal en función de la deformación cortante en la Muestra N°2.



Grafica 9. 27. Variabilidad de deformación longitudinal en función de la deformación cortante en la Muestra N°3.



Grafica 9. 28. Variabilidad de deformación longitudinal en función de la deformación cortante en la Muestra N°4.