

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



**“COMPARACIÓN DE LOS AGENTES DISPERSANTES
PARA EL ENSAYO DEL DENSÍMETRO 152H EN SUELOS
ARCILLOSOS”**

Por:

NARVAEZ RIOS YAMIL

Proyecto de grado presentado a consideración de la “UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO”, como requisito para optar el grado académico de licenciatura en Ingeniería civil

SEMESTRE I-2025

TARIJA-BOLIVIA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**“COMPARACIÓN DE LOS AGENTES DISPERSANTES
PARA EL ENSAYO DEL DENSÍMETRO 152H EN SUELOS
ARCILLOSOS”**

Por:

NARVAEZ RIOS YAMIL

SEMESTRE I-2025

TARIJA-BOLIVIA

DEDICATORIA

A DIOS:

Por haberme dado fortaleza cuando a punto de caer he estado y permitirme realizar un logro más en mi vida.

A MI FAMILIA:

A mis padres y hermanos por estar siempre conmigo y creer en mí.

A MIS DOCENTES:

Por su apoyo, así como la sabiduría que me transmitieron en el desarrollo de mi formación profesional.

A MIS AMIGOS:

Por los momentos compartidos en mi estadía en la universidad, a mis queridos compañeros de laboratorio por que juntos llegamos hasta este punto.

ÍNDICE

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

N

1.1 Antecedentes.....	2
1.2 Situación problemática.....	4
1.2.1 Problema.....	5
1.2.2 Relevancia y factibilidad del problema.....	5
1.2.2.1 Relevancia del problema.....	5
1.2.2.2 Factibilidad del problema.....	5
1.2.3 Delimitación temporal y espacial del problema.....	6
1.2.3.1 Delimitación temporal.....	6
1.2.3.2 Delimitación espacial.....	6
1.3 Justificación.....	6
1.4 Objetivos.....	7
1.4.1 Objetivo general.....	7
1.4.2 Objetivos específicos.....	8
1.5 Hipótesis.....	8
1.6 Operacionalización de las variables.....	9
1.7 Identificación del tipo de investigación.....	9
1.8 Unidades de estudio y decisión muestra.....	10
1.8.1 Unidad de estudio.....	10
1.8.2 Población.....	10
1.8.3 Muestra.....	10
1.8.4 Selección de las técnicas de muestreo.....	10

1.9 Métodos y técnicas empleadas.....	11
1.9.1 Métodos.....	11
1.10 Alcance de la investigación.....	11

CAPÍTULO II

FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1 Generalidades de suelos.....	12
2.2 Origen y composición de los suelos.....	12
2.2.1 Mecánica de suelos.....	12
2.2.2 Tipos de suelos.....	12
2.2.3 Definición de arcilla.....	13
2.2.4 Estructura de la arcilla.....	13
2.3 Arcillas de alta plasticidad (CH).....	14
2.4 Arcillas de baja plasticidad (CL).....	15
2.5 Contenido de humedad.....	15
2.5.1 Método de secado al horno.....	16
2.6 Peso específico.....	16
2.6.1 Descripción breve del ensayo.....	16
2.7 Granulometría de suelos.....	17
2.7.1 Análisis por tamizaje.....	18
2.7.2 Método del lavado.....	19
2.7.3 Descripción breve del ensayo.....	19
2.7.4 Curva granulométrica.....	19
2.8 Límites de Atterberg.....	20
2.8.1 Limite liquido.....	21
2.8.1.1 Descripción breve del ensayo.....	21

2.8.2 Limite plástico.....	21
2.8.3 Índice de plasticidad.....	22
2.9 Sistema de clasificación del suelo.....	23
2.9.1 Carta de plasticidad.....	23
2.10 Densímetro 152H.....	24
2.11 Ensayo del densímetro 152H.....	27
2.11.1 Descripción del ensayo del densímetro 152H.....	27
2.11.2 Análisis granulometría por medio del densímetro 152H.....	27
2.11.3 Calibración del densímetro.....	28
2.11.4 Preparado del dispersante.....	30
2.11.5 Procedimiento.....	30
2.11.6 Corrección de las lecturas del densímetro 152H.....	31
2.11.7 Cálculos.....	33
2.12 Agentes dispersantes.....	36
2.12.1 Importancia en el ensayo del densímetro 152H.....	36
2.12.2 Hexametafosfato de sodio.....	37
2.12.3 Silicato de sodio.....	37
2.12.4 Cloruro de sodio.....	37

CAPÍTULO III

RELEVAMIENTO DE INFORMACIÓN Y CARACTERIZACIÓN

3.1 Ubicación.....	38
3.1.1 Zona San Jorge I.....	39
3.1.2 Zona Pampa Galana.....	40
3.1.3 Zona Miraflores.....	41
3.1.4 Zona 12 de Abril.....	42
3.1.5 Zona El Constructor.....	43

3.1.6 Zona Aranjuez.....	44
3.1.7 Zona San Blas.....	45
3.1.8 Zona Tablada Grande.....	46
3.2 Selección de la muestra.....	47
3.3 Equipo para la obtención de la muestra.....	47
3.4 Extracción de muestras.....	47
3.5 Memoria fotográfica de la extracción de las muestras.....	48
3.6 Agentes dispersantes.....	52
3.6.1 Ficha técnica del hexametafosfato de sodio.....	53
3.6.1.1 Propiedades físicas.....	53
3.6.2 Ficha técnica del silicato de sodio.....	54
3.6.2.1 Propiedades fisicoquímicas.....	54
3.6.3 Ficha técnica del cloruro de sodio.....	55
3.7 Caracterización de los materiales.....	56
3.7.1 Caracterización de suelos arcillosos “CL”, “CH”.....	56
3.7.2 Determinación del contenido de humedad (ASTM D2216).....	56
3.7.3 Determinación del peso específico (ASTM D-854.02).....	57
3.7.4 Análisis granulométrico ASTM C117-95.....	59
3.7.5 Determinación del límite líquido y plástico (ASTM D-4318).....	61
3.7.5.1 Límite líquido (ASTM D-4318).....	61
3.7.5.2 Límite plástico (ASTM D4318).....	62
3.7.5.3 Índice de plasticidad (ASTM D4318).....	62
3.7.6 Clasificación de suelos finos.....	63
3.7.6.1 Sistema unificado de clasificación de suelos (SUSC).....	63
3.7.7 Resumen de resultados de caracterización.....	65

3.8 Análisis granulométrico por el método de densímetro 152H (ASTM D422) en suelos arcillosos.....	65
3.8.1 Ensayo del densímetro 152H.....	67
3.8.2 Obtención de datos en ensayo del densímetro 152H.....	69
3.8.3 Cálculos.....	69
3.8.3.1 Correcciones para el ensayo por densímetro 152H.....	69
3.8.3.2 Calculo de las lecturas de densímetro corregidas.....	70
3.8.3.3 Lectura del densímetro 152H corregida.....	71
3.8.3.4 Lectura final del densímetro 152H corregida.....	71
3.8.3.5 Calculo de la velocidad de sedimentación, el diámetro de la partícula, y los porcentajes más finos parcial y total.....	71
3.8.3.6 Velocidad de sedimentación.....	72
3.8.3.7 Calculo del diámetro de las partículas.....	72
3.8.3.8 Porcentaje más fino parcial.....	72
3.8.3.9 Porcentaje más fino total.....	73
3.8.4 Obtención de datos en ensayo del densímetro 152H.....	76
3.8.5 Cálculos.....	76
3.8.5.1 Correcciones para el ensayo por el densímetro 152H.....	76
3.8.5.2 Calculo de las lecturas de densímetro 152H corregidas.....	77
3.8.5.3 Lectura del densímetro 152H corregida.....	78
3.8.5.4 Lectura final del densímetro 152H corregida.....	78
3.8.5.5 Calculo de la velocidad de sedimentación, el diámetro de la partícula, y los porcentajes más finos parcial y total.....	78
3.8.5.6 Velocidad de sedimentación.....	79
3.8.5.7 Calculo del diámetro de las partículas.....	79
3.8.5.8 Porcentaje más fino parcial.....	79

3.8.5.9 Porcentaje más fino total.....	80
3.8.6 Obtención de datos en ensayo del densímetro 152H.....	83
3.8.7 Cálculos.....	83
3.8.7.1 Correcciones para el ensayo por densímetro 152H.....	83
3.8.7.2 Calculo de las lecturas de densímetro 152H corregidas.....	84
3.8.7.3 Lectura del densímetro 152H corregida.....	84
3.8.7.4 Lectura final del densímetro 152H corregida.....	85
3.8.7.5 Calculo de la velocidad de sedimentación, el diámetro de la partícula, y los porcentajes más finos parcial y total.....	85
3.8.7.6 Velocidad de sedimentación.....	85
3.8.7.7 Calculo del diámetro de las partículas.....	86
3.8.7.8 Porcentaje más fino parcial.....	86
3.8.7.9 Porcentaje más fino total.....	87

CAPÍTULO IV

COMPARACIÓN DE AGENTES DISPERSANTES POR EL ENSAYO DEL DENSÍMETRO 152H

4.1 Comparación de la investigación para determinar el porcentaje óptimo de cloruro de sodio.....	91
4.1.1 Porcentajes de arcilla y limo detectada de cada suelo arcilloso para determinar el porcentaje más adecuado de cloruro de sodio.....	91
4.1.2 Tiempo de sedimentación al final del ensayo del densímetro 152H con diferentes porcentajes de cloruro de sodio.....	94
4.1.3 Diámetro de partículas más pequeña y porcentaje de arcilla en suspensión al final del ensayo del densímetro 152H con diferentes porcentajes de cloruro de sodio.....	96
4.2 Comparación de agentes dispersantes por ensayo del densímetro 152H.....	99
4.2.1 Porcentajes de arcilla y limo detectada de cada suelo arcilloso.....	100

4.2.2 Tiempo de sedimentación al final del ensayo del densímetro 152H con diferentes agentes dispersantes.....	102
4.2.3 Diámetro de partículas más pequeña y porcentaje de arcilla en suspensión al final del ensayo del densímetro 152H con diferentes agentes dispersantes.....	104
4.2.4 Curva de distribución granulométrica de los suelos arcillosos estudiados con los diferentes agentes dispersantes.....	107
4.2.4.1 Comparación en suelos arcillosos de baja plasticidad (CL).....	107
4.2.4.2 Comparación en suelos arcillosos de alta plasticidad (CH).....	109

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones.....	112
5.2 Recomendaciones.....	113

BIBLIOGRAFÍA.....	114
-------------------	-----

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Operacionalización de las variables.....	9
Tabla 2: Método de investigación.....	11
Tabla 3: Tamaño de las partículas de suelos.....	13
Tabla 4: Diámetro de tamices.....	18
Tabla 5: Densímetro 152H.....	29
Tabla 6: Valores de corrección por temperatura.....	32
Tabla 7: Valores del K para el cálculo del diámetro de partícula.....	34
Tabla 8: Valores de “a” para diferentes gravedades específicas.....	35
Tabla 9: Ensayos a desarrollar.....	56
Tabla 10: Contenido de humedad.....	57
Tabla 11: Peso específico.....	59

Tabla 12: Análisis granulométrico.....	60
Tabla 13: Ensayos de límites líquidos y plástico.....	63
Tabla 14: Clasificación de las muestras.....	64
Tabla 15: Resumen de caracterización de suelos.....	65
Tabla 16: Datos de la muestra de Tablada Grande con hexametáfosfato de sodio.....	69
Tabla 17: Ensayo por el densímetro 152H para suelo arcilloso de la zona de Tablada Grande.....	74
Tabla 18: Datos de la muestra de Tablada Grande con silicato de sodio.....	76
Tabla 19: Ensayo por el densímetro 152H para suelo arcilloso de la zona de Tablada Grande.....	81
Tabla 20: Datos de la muestra de Tablada Grande con cloruro de sodio al 2%.....	83
Tabla 21: Ensayo por el densímetro 152H para suelo arcilloso de la zona de Tablada Grande.....	88
Tabla 22: Matriz de resultados de los suelos arcillosos.....	90
Tabla 23: Comparación de porcentajes de arcilla y limo detectada de cada suelo arcilloso para determinar el porcentaje más adecuado de cloruro de sodio.....	92
Tabla 24: Comparación del tiempo de sedimentación al final del ensayo del densímetro 152H con diferentes porcentajes de cloruro de sodio.....	94
Tabla 25: Comparación del diámetro de partículas más pequeña y porcentaje de arcilla en suspensión al final del ensayo del densímetro 152H.....	96
Tabla 26: Comparación de porcentajes de arcilla y limo detectada de cada suelo arcilloso.....	100
Tabla 27: Comparación del tiempo de sedimentación al final del ensayo del densímetro 152H con diferentes agentes dispersantes.....	102
Tabla 28: Comparación del diámetro de partículas más pequeña y porcentaje de arcilla en suspensión al final del ensayo del densímetro 152H con diferentes agentes dispersantes.....	104

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Estructura de arcilla.....	14
Figura 2: Horno de secado.....	16
Figura 3: Peso específico de suelos arcillosos.....	17
Figura 4: Método del lavado.....	19
Figura 5: Límites de Atterberg.....	22
Figura 6: Carta de plasticidad.....	24
Figura 7: Ensayo del densímetro 152H.....	25
Figura 8: Imagen satelital de extracción de muestras en el barrio San Jorge I.....	39
Figura 9: Imagen satelital de extracción de muestras en el barrio Pampa Galana.....	40
Figura 10: Imagen satelital de la zona de extracción de muestra en el barrio Miraflores.....	41
Figura 11: Imagen satelital de la zona de extracción de muestra en el barrio 12 de Abril.....	42
Figura 12: Imagen satelital de la zona de extracción de muestra en el barrio El Constructor.....	43
Figura 13: Imagen satelital de la zona de extracción de muestra en el barrio Aranjuez.....	44
Figura 14: Imagen satelital de extracción de muestra en el barrio de San Blas.....	45
Figura 15: Imagen satelital de extracción de muestra en el barrio de Tablada Grande	46
Figura 16: Extracción de la muestra 1 zona San Jorge I.....	48
Figura 17: Extracción de la muestra 2 zona Pampa Galana.....	48
Figura 18: Extracción de la muestra 3 zona Miraflores.....	49
Figura 19: Extracción de la muestra 4 zona 12 de Abril.....	49

Figura 20: Extracción de la muestra 5 zona El Constructor.....	50
Figura 21: Extracción de la muestra 6 zona Aranjuez.....	50
Figura 22: Extracción de la muestra 7 zona San Blas.....	51
Figura 23: Extracción de la muestra 8 zona Tablada Grande.....	51
Figura 24: Agentes dispersantes.....	52
Figura 25: Ensayo de contenido de humedad.....	57
Figura 26: Ensayo peso específico.....	58
Figura 27: Lavado por el tamiz N°200 para suelos arcillosos.....	60
Figura 28: Límite líquido.....	61
Figura 29: Límite plástico.....	62
Figura 30: Muestra de suelo arcilloso en reposo con defloculante por 24 horas.....	66
Figura 31: Realización del ensayo del densímetro 152H.....	67
Figura 32: Realización ensayo del densímetro 152H.....	67
Figura 33: Probetas en la piscina con temperatura constante para en el ensayo del densímetro 152H.....	68

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1: Curva granulométrica típica de suelos.....	20
Gráfica 2: Carta plástica por el sistema unificado de clasificación de suelos SUCS	64
Gráfica 3: Curva de la distribución granulométrica de la zona de Tablada Grande usando hexametáfosfato de sodio.....	75
Gráfica 4: Curva de la distribución granulométrica de la zona de Tablada Grande usando silicato de sodio.....	82

Gráfica 5: Curva de la distribución granulométrica de la zona de Tablada Grande usando cloruro de sodio al 2%.....	89
Gráfica 6: Cuadro comparativo en porcentajes de arcilla con diferentes porcentajes de cloruro de sodio.....	93
Gráfica 7: Cuadro de comparación del tiempo de sedimentación final de suelos arcillosos con diferentes porcentajes de cloruro de sodio.....	95
Gráfica 8: Cuadro comparativo del porcentaje de arcilla en suspensión al finalizar el ensayo del densímetro 152H.....	97
Gráfica 9: Cuadro comparativo del diámetro ultimo de partículas al finalizar el ensayo del densímetro 152H.....	98
Gráfica 10: Resumen de los cuadros comparativos de porcentajes de arcilla con diferentes agentes dispersantes.....	101
Gráfica 11: Cuadro comparativo del tiempo final de sedimentación con diferentes agentes dispersantes.....	103
Gráfica 12: Cuadro comparativo de arcilla en suspensión al finalizar el ensayo con diferentes agentes dispersantes.....	105
Gráfica 13: Cuadro comparativo de los diámetros de partícula ultima al finalizar el ensayo con diferentes agentes dispersantes.....	106
Gráfica 14: Distribución granulométrica de la zona de San Jorge I.....	107
Gráfica 15: Distribución granulométrica de la zona de Pampa Galana.....	107
Gráfica 16: Distribución granulométrica de la zona de Miraflores.....	108
Gráfica 17: Distribución granulométrica de la zona de 12 de Abril.....	108
Gráfica 18: Distribución granulométrica de la zona de El Constructor.....	109
Gráfica 19: Distribución granulométrica de la zona de Aranjuez.....	109
Gráfica 20: Distribución granulométrica de la zona de San Blas.....	110
Gráfica 21: Distribución granulométrica de la zona de Tablada Grande.....	110

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo I. Contenido de Humedad

Anexo II. Granulometría

Anexo III. Límites de Atterberg

Anexo IV. Peso Específico

Anexo V. Clasificación de los suelos arcillosos

Anexo VI. Ensayo del Densímetro 152H sin agente dispersante

Anexo VII. Ensayo del Densímetro 152H con Cloruro de Sodio al 2%

Anexo VIII. Ensayo del Densímetro 152H con Cloruro de Sodio al 4%

Anexo IX. Ensayo del Densímetro 152H con Cloruro de Sodio al 6%

Anexo X. Ensayo del Densímetro 152H con Hexametáfosfato de Sodio

Anexo XI. Ensayo del Densímetro 152H con Silicato de Sodio

Anexo XII. Plano de los suelos estudiados del área urbana de la ciudad de Tarija