

UNIVERSIDAD NACIONAL HERMILIO VALDIZÁN
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**REPRESENTACIÓN DEL MÉTODO PARA EMPLEO DEL RELLENO
FLUIDO SUELO-CEMENTO EN PERFECCIONAMIENTO DE SUELOS DE
DISMINUIDA CAPACIDAD PORTANTE EN OBRAS VIALES - 2022**

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: INGENIERIA CIVIL
TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

TESISTAS:

BACH. SOTO VENTURA, GEAN PIERO

BACH. SOTO VENTURA, GENARO BRYAN

ASESOR:

MG. ALCEDO DIAZ, CHARLES JIAMMY

HUÁNUCO – PERÚ

2022

DEDICATORIA

A las personas que directa e indirectamente nos apoyaron a lo largo del proceso para la realización de la presente tesis.

AGRADECIMIENTO

A Dios que por sobre todas las cosas nos permitió estar presentes este día en el cual avanzamos un paso más de los muchos que nos falta por recorrer a lo largo de nuestra vida.

A nuestros padres y hermanos por haber estado siempre presentes a lo largo de nuestra etapa formativa universitaria.

Al Mg. Charles Jiammy Alcedo Diaz por su orientación vital para la elaboración y culminación de la presente tesis.

A la FICyA, a su plana docente y administrativa, por haber sido parte de nuestra etapa de formación universitaria.

RESUMEN

La presente investigación, titulada “Representación del método para empleo del relleno fluido suelo-cemento en perfeccionamiento de suelos de disminuida capacidad portante en obras viales-2022”, pretende generar debate y reflexión en cuanto al empleo de este material como opción ante el relleno tradicional compactado.

La actual Norma E.050 (Mecánica de suelos y cimentaciones) delimita el empleo de rellenos compactados para la mejora de suelos con disminuida capacidad portante; a pesar de ello, este método puede ser muy complicado en sí mismo, ya que exige el uso de más de un artilugio mecánico y procesos repetitivos que pueden verse alterados con frecuencia por factores climáticos, originando plazos y precios mayores a los fijados en un principio.

Por el contrario, el relleno fluido de suelo-cemento (RFSC) tiene propiedades que incluyen la autonivelación, la autocompactación, la densidad controlada y una resistencia que logran la mejora del suelo de una forma más óptima; asimismo, dicho material se puede hacer con el suelo natural en la que se puede construir la carretera, reduciendo así los gastos y el tiempo de construcción.

A fin de evaluar el empleo del RFSC como material de relleno estructural, se tomó una obra pública como referencia en la que se utilizó el relleno tradicional compactado como material de perfección. Mediante modelos matemáticos en cada propuesta, se ha comparado la reacción de los suelos en función de deformaciones, detectando que los

asentamientos mientras se utilizan el RFSC muestran valores apenas mejores que los conseguidos con el relleno tradicional compactado. Desde la perspectiva normativa, los factores de seguridad y las distorsiones son inferiores a los límites admisibles para ambos métodos, por lo que se puede afirmar que el RFSC es una oportunidad ante el relleno tradicional compactado.

Palabras claves: Representación del método, relleno fluido suelo-cemento, perfeccionamiento de suelos.

SUMMARY

The present research, entitled "Representation of the method for the use of fluid soil-cement backfill in the improvement of soils with reduced bearing capacity in road works", aims to generate debate and reflection on the use of this material as an option to the traditional compacted backfill.

The current Standard E.050 (Soil mechanics and foundations) delimits the use of compacted fills for the improvement of soils with reduced bearing capacity; in spite of this, this method can be very complicated in itself, since it requires the use of more than one mechanical device and repetitive processes that can be frequently altered by climatic factors, causing longer terms and higher prices than those initially established.

In contrast, flowable soil-cement backfill (RFSC) has properties including self-leveling, self-compaction, controlled density and strength that achieve more optimal soil improvement, and can be made from the natural soil on which the road can be built, thus reducing costs and construction time.

In order to evaluate the use of RFSC as a structural fill material, a public work was taken as a reference in which traditional compacted fill was used as a perfection material. By means of mathematical models in each proposal, the reaction of the soils as a function of deformations was compared, detecting that the settlements while using RFSC show slightly better values than those achieved with traditional compacted backfill. From the normative perspective, the safety factors and distortions are lower than the admissible

limits for both methods, so it can be stated that RFSC is an opportunity in front of the traditional compacted backfill.

Key words: Method representation, soil-cement flowable fill, soil improvement.

ÍNDICE

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
RESUMEN	iv
SUMMARY	vi
ÍNDICE	viii
ÍNDICE DE TABLAS	xii
ÍNDICE DE FIGURAS	xiii
INTRODUCCIÓN	xiv
CAPÍTULO I. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	xii
1.1 Fundamentación del problema	1
1.2 Justificación e importancia de la investigación	3
1.3 Viabilidad de la investigación	4
1.4 Formulación del problema	5
1.4.1 Problema general	5
1.4.2 Problemas específicos	5

1.5	Formulación de objetivos	5
1.5.1	Objetivo general	5
1.5.2	Objetivos específicos	6
1.6	Operacionalización de variables	6
1.7	Definición operacional de las variables	7
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO		9
2.1	Antecedentes de investigación	9
2.2	Bases teóricas	13
2.2.1	Suelo Débil	14
2.2.2	Estabilización del Suelo	19
2.2.3	Mejoramiento de suelo empleando relleno fluido suelo-cemento	21
2.3	Bases conceptuales	29
2.3.1	Los Suelos	29
2.3.2	Estabilización de suelos y modificación del terreno	47
2.3.3	Relleno fluido suelo-cemento	59

2.4	Fundamentos epistemológicos o filosóficos o antropológicos	64
CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO.....		66
3.1	Ámbito	66
3.2	Tipo y nivel de investigación.....	66
3.2.1	Tipo de investigación	66
3.2.2	Nivel de investigación.....	67
3.3	Población y muestra	67
3.3.1	Descripción de la población.....	67
3.3.2	Muestra y método de muestreo.....	67
3.3.3	Criterios de exclusión e inclusión	68
3.4	Diseño de investigación	68
3.5	Técnicas e instrumentos	70
3.5.1	Técnicas.....	70
3.5.2	Instrumentos.....	71
3.6	Técnicas para el procesamiento y análisis de datos.....	72

3.6.1	Propiedades geotécnicas del Relleno Fluido Suelo-Cemento	73
3.6.2	Análisis comparativo para evaluar la viabilidad del uso de RFSC como material de mejoramiento en reemplazo del material de relleno	80
3.7	Aspectos éticos	99
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....		100
4.1	Análisis de discurso o contenido.....	100
4.2	Análisis de topologías	100
4.2.1	Asentamientos.....	101
4.3	Teorías implícitas	104
CONCLUSIONES.....		105
SUGERENCIAS.....		107
BIBLIOGRAFÍA.....		109

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: <i>Valores de presión admisible conforme a la naturalidad de los terrenos</i>	2
Tabla 2: <i>Análisis general de las variables</i>	6
Tabla 3: <i>Definición general de las variables</i>	7
Tabla 4: <i>Comparación de costos y tiempos según el método de relleno en la situación de terraplén</i>	10
Tabla 5: <i>Comparación de costos y tiempos, dados en porcentajes, de rellenos en situación de terraplén</i>	11
Tabla 6: <i>Clasificaciones de los índices de colapso I_c</i>	17
Tabla 7: <i>Suelos Expansivos – clasificación</i>	18
Tabla 8: <i>Agregado en relleno fluido – granulometría</i>	24
Tabla 9: <i>Cumplimiento de los agregados para sus propiedades físicas y químicas</i>	24
Tabla 10: <i>Clasificaciones de los suelos conforme los tamaños de sus partículas</i>	31
Tabla 11: <i>Variedad de suelos y sus coeficientes de permeabilidad</i>	32
Tabla 12: <i>Tamices conforme ASTM y sus diámetros estándar</i>	38
Tabla 13: <i>Mejora de un suelo por compactaciones con diversos tipos de rodillos</i>	50
Tabla 14: <i>Datos geotécnicos para la introducción de datos en PLAXI 2D</i>	93

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: <i>Potencial de colapso - criterios</i>	16
Figura 2: <i>Cambio potencial de volumen – Clasificación</i>	18
Figura 3: <i>Sistema de partículas de los suelos</i>	30
Figura 4: <i>Ubicación y agrupación vertical de tamices en prueba de laboratorios</i>	38
Figura 5: <i>Distribuciones Granulométricas y sus curvas</i>	39
Figura 6: <i>Límites de Atterberg</i>	40
Figura 7: <i>Límite líquido determinado por copa de Casagrande</i>	41
Figura 8: <i>Pruebas de límite plástico</i>	41
Figura 9: <i>Definiciones de los límites de contracción</i>	42
Figura 10: <i>Partículas gruesas en suelos y su clasificación SUCS</i>	45
Figura 11: <i>Partículas finas en suelos y su clasificación SUCS</i>	45
Figura 12: <i>Compactación de suelos – principios</i>	49
Figura 13: <i>Maquinaria en compactaciones de suelos</i>	50
Figura 14: <i>Diseño de la investigación</i>	70
Figura 15: <i>Propiedades de la subrasante obtenido del expediente técnico contractual</i>	82
Figura 16: <i>Propiedades de la subrasante obtenido del expediente técnico contractual</i>	82
Figura 17: <i>Propiedades del material de relleno para base obtenido del expediente técnico contractual</i>	83
Figura 18: <i>Propiedades del material de relleno para base obtenido del expediente técnico contractual</i>	84
Figura 19: <i>Propiedades del material de relleno para base obtenido del expediente técnico contractual</i>	85

Figura 20: <i>Propiedades del Relleno Fluido Suelo-Cemento trabajado en El Salvador, Suelo N° 2</i>	85
Figura 21: <i>Plano de planta típica de carpeta rígida</i>	87
Figura 22: <i>Plano de sección del paquete estructural</i>	88
Figura 23: <i>Detalle de secciones típicas del pavimento</i>	88
Figura 24: <i>Creación del proyecto en el programa PLAXIS 2D del modelo analizado</i>	89
Figura 25: <i>Geometría planteada del modelo matemático en el programa PLAXIS 2D</i>	90
Figura 26: <i>Asignación de cargas al modelo geométrico</i>	92
Figura 27: <i>Asignación de las propiedades de los materiales al modelo geométrico del Material de Relleno</i>	93
Figura 28: <i>Asignación de las propiedades de los materiales al modelo geométrico del Relleno Fluido Suelo Cemento (RFSC)</i>	93
Figura 29: <i>Malla de elementos finitos para el modelo de material de relleno</i>	95
Figura 30: <i>Malla de elementos finitos para el modelo de Relleno Fluido Suelo-Cemento</i>	95
Figura 31: <i>Condiciones iniciales para mejoramiento de suelo con material de relleno</i>	96
Figura 32: <i>Condiciones iniciales para mejoramiento de suelo con RFSC</i>	96
Figura 33: <i>Ubicación del subprograma Calculations de PLAXIS 2D</i>	98
Figura 34: <i>Distribución de esfuerzos y deformaciones en el modelo geométrico con material de relleno</i>	101
Figura 35: <i>Distribución de esfuerzos y deformaciones en el modelo geométrico con RFSC</i>	101
Figura 36: <i>Asentamientos producidos en mejoramiento con material de relleno</i>	102
Figura 37: <i>Asentamientos producidos en mejoramiento con RFSC</i>	102

INTRODUCCIÓN

En nuestro entorno, el relleno compactado convencional se utiliza para la mejora de suelos en carreteras; pero, este método no suele ser absolutamente útil debido a la laboriosidad de su control y de su conformación dentro de las obras.

Como una oportunidad al enfoque convencional, el Relleno Fluido Suelo-Cemento (RFSC) es una combinación que puede ser utilizada dentro del desarrollo de suelos con disminuida capacidad portante en obras viales. Con sus características, en estado endurecido y fresco, tiene propiedades mecánicas y físicas que hacen posible su uso. La autocompactación y la autonivelación, incluyendo la capacidad de obtener una variación de resistencia son ciertas propiedades peculiares en este material.

Esta investigación, dentro de la primera instancia, indaga producir debate y reflexión sobre lo viable de emplear el RFSC dentro del perfeccionamiento de suelos con disminuida capacidad portante en obras viales; por esto se propone un método de representación para el empleo de este material en proyectos viales que requieran la mejora del suelo portante. Para lograr los objetivos, se analizan las propiedades geotécnicas de dicho material, organizando comparaciones con los rellenos tradicionales; a su vez, se fijan los lineamientos y procedimientos para presentar el método.

El capítulo I (problema de la investigación) establece las situaciones que dieron lugar al estudio del tema enfocado, analizando el problema y las soluciones de oportunidad; adicionalmente se fijan la justificación y los objetivos de la técnica planteada.

En el capítulo II (marco teórico), se explica la teoría en marco al RFSC; se describe antecedentes del empleo de dicho material en diferentes latitudes. También se analizan su aplicabilidad y sus propiedades en múltiples suelos conflictivos.

En el capítulo III (marco metodológico) se examinan los datos para estimar lo viable del empleo del RFSC en la mejora de suelos con disminuida capacidad portante en obras viales. En una instancia inicial, se analizan propiedades geotécnicas del RFSC, lo cual orienta a comprender, las ventajas del uso de dicho material. En segunda instancia del análisis, se exponen modelos matemáticos para revelar técnicamente propiedades del RFSC; como resultado, estudiando las respuestas del suelo al utilizar este material dentro de la obra " MEJORAMIENTO DEL SERVICIO VIAL Y URBANO EN LA PROLONGACION LOS GIRASOLES Y LA AV. LOS GIRASOLES, DEL DISTRITO DE AMARILIS – PROVINCIA DE HUÁNUCO – DEPARTAMENTO DE HUÁNUCO", los resultados se comparan con los adquiridos con relleno tradicional compactado (material utilizado en la mencionada obra).

Para finalizar, el segmento de sugerencias y conclusiones informa sobre todos los factores estudiados, analiza lo viable del empleo de este material y plantea temas recientes para la instigación del RFSC.

Los valores numéricos, consistentes en la densidad, capacidad portante, dosificaciones de las mezclas y peso específico del RFSC, fueron extraídas del expediente técnico, de trabajos relacionados y de especializada bibliografía en el tema estudiado; en consecuencia, no deben ser tomadas como datos regulares, sino como datos de referencia

que se pueden alcanzar utilizando materiales de nuestro propio entorno, con todas las cualidades que implica ello.

CAPÍTULO I.

PROBLEMA DE INVESTIGACION

1.1 Fundamentación del problema

El terreno representa un medio en que se construye una infraestructura vial, captando cargas provocadas por su propio peso, consecuencia de agentes exteriores y de las que encamina su uso.

Debido a las múltiples variedades de suelos, diversas cualidades y a lo que se compone de sus estratos, es preciso definir la calidad en la que se cimienta una infraestructuras viales en ese marco Peck et al. (2001), cita:

El comportamiento de toda cimentación depende primordialmente de las propiedades ingenieriles que tengan los depósitos del suelo y roca en el lugar. Por ello, el ingeniero debe ser capaz de discernir entre los diferentes depósitos de distinta clase, identificar sus constituyentes principales y conocer sus propiedades físicas. (p. 27)

La calidad del terreno, para fines estructurales, es medible mediante su resistencia (capacidad portante), donde esta cambia según sus propiedades físicas, químicas y mecánicas.

Tabla 1: Valores de presión admisible conforme a la naturalidad de los terrenos

Naturaleza del terreno	Presión admisible en kg/cm ² , para profundidad de cimentación en metros				
	0.00	0.50	1.00	2.00	>3.00
1. Rocas (1)					
No estratificadas	30	40	50	60	60
Estratificadas	10	12	16	20	20
2. Terrenos sin cohesión (2)					
Gravas	-	4	5	6.3	8
Arenosos gruesos	-	2.5	3.2	4	5
Arenosos finos	-	1.6	2	2.5	3.2
3. Terrenos cohesivos					
Arcillosos duros	-	-	4	4	4
Arcillosos semiduros	-	-	2	2	2
Arcillosos blandos	-	-	1	1	1
Arcillosos fluidos	-	-	0.5	0.5	0.5
4. Terrenos deficientes					
Fangos	En general la resistencia es nula, salvo que se determine experimentalmente el valor admisible.				
Terrenos orgánicos					
Rellenos sin consolidar					

Nota: (1) valores considerados en roca sana, en rocas que sufren de intemperismo, estos valores disminuyen en forma proporcional. (2) se toma en consideración los niveles de consolidación; en consolidaciones medias el valor se multiplica por 0.80, en un suelo su coeficiente es de 0.5.

Esta investigación está enfocada al estudio de suelos donde la capacidad portante tiene un límite, en la cual es necesario su mejoramiento para construir cimentaciones de infraestructuras viales. La actual norma E.050 - Mecánica de suelos y cimentaciones, restringe la aplicación de relleno compactado para mejorar la capacidad portante de los suelos; a opinión de Vilcas (2018), “en el Perú se ha visto como único sistema de rellenos de suelo la compactación con maquinaria. Hoy en día, en varias partes del mundo se utilizan nuevos métodos para rellenos como son los rellenos fluidos” (p. 5).

En este marco nace una importancia para aprender varias opciones a fin de obtener un suelo mejorado, donde usar el relleno fluido suelo-cemento, sea una clara opción a considerar puesto que alguna de sus propiedades (fluidez y autocompactación) omiten en

su totalidad la intervención de máquinas y/o equipos que se usan tradicionalmente en rellenos compactados.

1.2 Justificación e importancia de la investigación

Este presente proyecto de investigación se enfoca en dar una alta consideración al empleo del RFSC (relleno fluido suelo-cemento) con la finalidad de mejorar los suelos con disminuida capacidad portante en infraestructura vial.

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS, 2018) respecto a la norma vigente modificada, mecánica de suelos y cimentaciones E.050; da a conocer que en situaciones que se presenten suelos de mínima calidad, necesariamente se reemplaza dicho material con relleno controlado, con ello se limita la actividad de compactar el relleno obteniendo un buen desenlace.

A consecuencia surge la necesidad de involucrarnos al estudio de muchas opciones de intento para lograr mejorar los suelos.

Dadas las características mecánicas y físicas del relleno fluido suelo-cemento, su uso podría reemplazar al relleno compactado. Por eso en este trabajo se ansía fijar un método para reconocer y delimitar propiedades mecánicas y físicas del RFSC (relleno fluido suelo-cemento).

Es importante el aprendizaje de diversas opciones para el mejoramiento de suelos, en la cual el uso del relleno fluido suelo-cemento, resulta considerable puesto que ciertas

propiedades como la fluidez y la autocompactación evitan en su conjunto la participación de maquinarias y/o equipos que son usados de forma tradicional en rellenos compactados.

Reemplazar suelos cuya capacidad portante es baja, es una aplicación común en los procesos constructivos de obras viales, en su mayoría estos procesos constructivos de llevan a cabo de forma tradicional compactando capas de relleno mediante el uso de maquinaria pesada y/o liviana como son los apisonadores, rodillos, etc. En diversas situaciones se presentan volúmenes amplios por cubrir, complicado paso a las excavaciones, climas en condiciones hostiles lo que provoca que su desarrollo de configuración sea trabajoso al necesitar más inspección.

1.3 Viabilidad de la investigación

La presente investigación propone un probable estudio en realizar, pensando en provisión de activos materiales, monetarios, humanos, de tiempo y de información. Teniendo en cuenta para cada uno de ellos un pensamiento crítico y práctico con una respuesta limpia y descrita, para poder evitar cualquier duda que pueda interrumpir los propósitos de estos estudios propuestos en la tesis.

También el presente estudio es factible porque se tiene en cuenta que en el tema observado existe información y trabajos comparables que nos entregarán una alta contribución para la mejora de la metodología de investigación.

1.4 Formulación del problema

1.4.1 Problema general

- ¿Cuál es la representación del método para empleo del relleno fluido suelo-cemento en perfeccionamiento de suelos de disminuida capacidad portante en obras viales?

1.4.2 Problemas específicos

- ¿Cuáles propiedades geotécnicas logran del relleno fluido suelo-cemento una opción en el perfeccionamiento de suelos con disminuida capacidad portante en obras viales?
- ¿Cuáles son las tendencias y tratamientos en empleo de relleno fluido suelo-cemento para perfeccionamiento de suelos con disminuida capacidad portante en obras viales?

1.5 Formulación de objetivos

1.5.1 Objetivo general

- Determinar la representación del método empleando el relleno fluido suelo-cemento en perfeccionamiento de suelos de disminuida capacidad portante en obras viales.

1.5.2 *Objetivos específicos*

- Nombrar las propiedades geotécnicas que logran del relleno fluido suelo-cemento una opción en el perfeccionamiento de suelos con disminuida capacidad portante en obras viales.
- Establecer un mapa conceptual acerca de las tendencias y tratamientos empleando el relleno fluido suelo-cemento en perfeccionamiento de suelos con disminuida capacidad portante en obras viales.

1.6 Operacionalización de variables

Tabla 2: *Análisis general de las variables*

Variable	Dimensiones	Indicadores	Tipo de variable según su naturaleza	Unidad de medida o categorías
Relleno Fluido Suelo-Cemento	Propiedades del material	Peso específico	Razón (Cuantitativa)	Kilogramo/ metro cúbico (kg/m ³)
		Módulo de Elasticidad		Mega Pascales (MPa)
		Coefficiente de Poisson		-
		Cohesión efectiva		-
		Ángulo de dilatación		Grados Sexagesimales (°)
		Ángulo de rozamiento		Grados Sexagesimales (°)
	Propiedades geotécnicas	Deformaciones (Asentamientos)		Centímetro (cm)
		Esfuerzos en la masa del suelo		

				Kilogramo (kg)
Relleno compactado	Propiedades del material	Peso específico (seco y saturado)	Razón (Cuantitativa)	Kilogramo/ metro cúbico (kg/m ³)
		Módulo de Elasticidad		Mega Pascales (MPa)
		Coefficiente de Poisson		-
		Cohesión efectiva		-
		Ángulo de dilatación		Grados Sexagesimales (°)
		Ángulo de rozamiento		Grados Sexagesimales (°)
	Propiedades geotécnicas	Deformaciones (Asentamientos)		Centímetro (cm)
		Esfuerzos en la masa del suelo		Kilogramo (kg)

Nota: Elaboración propia de la tabla.

1.7 Definición operacional de las variables

Tabla 3: Definición general de las variables

Variable	Definición conceptual de la variable	Definición operacional de la variable
Relleno Fluido Suelo- Cemento	Está compuesta por tierra, cemento y cantidades masivas de agua. Debido a sus propiedades normales, incluidas la fluidez y la autocompactación, puede utilizarse para remediar una selección de problemas en obras civiles, por ejemplo, en el	El procesamiento del Relleno Fluido Suelo- Cemento puede realizarse de distintas maneras, dependiendo de la cantidad, el área y el equipo disponible para la mezcla. Existen esencialmente tres métodos de procesamiento mediante

	relleno de tuberías, bases de pavimentos, rellenos de terraplenes, entre otras aplicaciones.	los cuales se puede combinar y colocar el Relleno Fluido Suelo-Cemento. Estos métodos son: Procesamiento manual, mezclador de bolsas individuales y mezclador de camiones.
Relleno compactado	Es un material que incluye un suelo de tipo grava arenosa, mezclado de forma homogénea, libre de grumos o trozos de arcilla, materiales vegetales o cualquier otro material desfavorable. Comprenderá un porcentaje de escombros abrumados para alcanzar el CBR especificado y el 60% o más de las partículas retenidas en el tamiz ASTM n° 4 tendrán al menos 2 caras fracturadas.	Es una técnica que se realiza con el objetivo de dar mejora a la cota del perfil del suelo o restaurar este nivel después de la excavación. Es importante para ganar el nivel esencial para numerosas obras. Estos rellenos funcionan en ocasiones como base de estructuras y de vez en cuando como suelo de zonas verdes. Dependiendo del uso previsto, se utilizan sustancias exclusivas y rangos extraordinarios de compactación.

Nota: Elaboración propia de la tabla.

CAPÍTULO II.

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de investigación

Interno a los análisis elaborados en la utilización de RFSC, Vilcas (2018) en su proyecto titulado: "Planteamiento del mejoramiento del suelo empleando relleno fluido para la construcción de los edificios multifamiliares en la obra casa club recrea “Los Nogales”, distrito del Agustino, Lima", señala que "el relleno fluido es una oportunidad al relleno granular compactado, considerando el ahorro económico en presión de trabajo, sistema y tiempo" (p.7). Dentro de sus conclusiones, Vilcas recalca que, aunque los precios de utilizar RFSC son mayores que las estrategias convencionales, esta condición se compensa con la ayuda del hecho de que exige menos tiempo para su creación (esta mezcla es simple de colocar, es homogénea, autonivelante y autocompactante); en consecuencia, en términos de precio global, es mucho más beneficioso aplicar este compuesto fluido.

López (2001) en su artículo menciona que el suelo consiste en un depósito de restos sólidos, además de agua y gases, provenientes de la disgregación de las rocas, y en su naturalidad de origen es la guía de muchas estructuras elaboradas por el hombre. El suelo también se utiliza en varios casos, entre ellos como material de construcción, como lo demuestra la vida de las estructuras de tierra, incluyendo presas, diques y rellenos para carreteras, aeropuertos, y para la nivelación de áreas de topografía irregular en la que la construcción se lleva a cabo. El suelo, en cambio, presenta en muchas actividades, como

materia de creación, los rasgos favorables de la abundancia, la robustez y el precio relativamente bajo; en cambio, cuando el suelo no tiene los rasgos geotécnicos adecuados para el motivo que se pretende, con frecuencia puede ser mejorado.

Como método más conocido, Salgado y Peralta (2016), elaboraron el proyecto: "Análisis técnico-económico del concreto fluido como reemplazo del relleno estructural compactado en la construcción de la planta concretara del proyecto minero Las Bambas", que presenta una opción alternativa a los problemas de relleno, para estructuras en las que las técnicas de compactación convencionales no son suficientes para los requerimientos solicitados. En este factor, han podido demostrar que, en términos económicos, es muy beneficioso aplicar hormigón fluido con una capacidad portante de 7 kg/cm^2 , puesto que hay una disminución de precio del 85% referente al relleno convencional. Enfocado al tiempo, hay disminución hasta el 98% en comparación con el relleno compactado, dado que no hay necesidad de aplicar el relleno tradicional compactado, porque dispensa la formación de capas y, siendo una materia fluida, es bastante realizable y puede tener un rendimiento de 850 m³/día.

Tabla 4: Comparación de costos y tiempos según el método de relleno en la situación de terraplén

Tipo de relleno	Rendimiento (m ³ /día)	Costo Unitario (S/)	Volumen (m3)	Total C.D. (S/)	Tiempo (días)
Relleno estructural Manual	12.00	99.72	5,000.00	498,622.67	416.67
Relleno estructural equipo	240.00	54.32	5,000.00	271,621.08	20.83
Relleno masivo equipo	280.00	32.76	5,000.00	163,818.07	17.86
Concreto fluido-Premezclado	650.00	133.49	5,000.00	667,444.66	7.69
Concreto fluido mezcladora	30.00	138.31	5,000.00	691,567.90	166.67

Nota: Selección de tabla del proyecto de pregrado "Análisis técnico-económico del concreto fluido como reemplazo del relleno estructural compactado en la construcción de la planta concretara del proyecto minero Las Bambas". Tacna, 2016. (p.79), de Salgado y Peralta.

Tabla 5: Comparación de costos y tiempos, dados en porcentajes, de rellenos en situación de terraplén

Tipo de relleno	Costo	Tiempo
Relleno estructural Manual	100%	100%
Relleno estructural equipo	54%	5%
Relleno masivo equipo	33%	4%
Concreto fluido-Premezclado	134%	2%
Concreto fluido mezcladora	139%	40%

Nota: Respecto al relleno convencional, el costo del relleno fluido aumenta a un 39%; a pesar de ello, los periodos en la ejecución son mitigados en un 98% al emplearse material premezclado. Selección de tabla del proyecto de pregrado “Análisis técnico-económico del concreto fluido como reemplazo del relleno estructural compactado en la construcción de la planta concretera del proyecto minero Las Bambas”. Tacna, 2016. (p.86), de Salgado y Peralta.

Santaella y Salamanca (2002) en su artículo ofrecen una compilación de información actualizada con respecto a los Rellenos Fluidos, típicamente reconocidos dentro de los textos técnicos como "materiales manejados de baja densidad y resistencia ocasional". El propósito de dicho informe es establecer una idealización fundamental respecto al problema, cuyo fin es servir de inicio para una forma de estudio que se lleva a cabo colectivamente a través de la Universidad Militar "Nueva Granada" y Concretos Premezclados, S.A. El propósito de estos trabajos es optimizar el entendimiento, así también el uso y diseño de dicho componente aplicado a sub-bases y bases de pavimentación, en situaciones de desenvolvimiento de disponibilidad específica y tecnología de sustancias locales. Consecuentemente, se proporcionan registros referentes a: generalidades del tema; normas y programas fundamentales del RFSC; aspecto de los materiales; propiedades como en estado endurecido y fresco; normas de dosificación conceptos de mezcla, colocación y transporte del producto; normas referentes a la construcción de pavimentos y diseño estructural del pavimento, el uso del relleno fluido

en bases; manejo de primera clase, desventajas y ventajas relacionadas con la utilidad ofrecida.

En el contexto global, hay diversos estudios asociados al empleo del relleno fluido como opción disolutiva de mejorar los suelos con disminuida capacidad portante en infraestructura vial. Tal es el caso, dentro del proyecto titulado "Análisis comparativo entre suelo cemento y hormigón pobre, como material de sustento para diferentes tipos de cimentación superficial, que requieren estas alternativas", se resalta cuan posible el relleno fluido como el concreto simple son sustancias a funcionar como estructura de rellenos y logran mayores números en resistencia y obtienen mejores valores de resistencia que los adquiridos con los rellenos compactados convencionales, reduciendo el relleno compactado mediante la disminución del espesor de la capa requerida. Se puede mantener el espesor, es factible disminuir la resistencia y sin embargo cumplir con las necesidades de los cimientos (Bayancela, 2016).

En la explicación investigativa, Bayancela agrupa arbitrariamente las condiciones en los cimientos como cimientos bajo viviendas medianamente ligeras y cimientos bajo edificios pesados.

Zegarra et al. (2015) en su artículo evalúan la reducción de la escorrentía del suelo pavimentado elaborados con piezas cuadradas de RFSC. Los exámenes se realizaron en pavimentación piloteada con piezas de RFSC, colocados sobre un campo metálico de 0.5 m × 0.5 m (superficie = 0.25 m²), con pendientes de 5, 3 y 1%. Se usaron promedios intensos de 117.7 mm/h y 76.9 mm/h, números cercanos a las magnitudes calculadas

mediante la gráfica frecuencia-tiempo-intensidad (f-t-i) en ciudad del Salvador, Brasil, en instancias de retroceso de 5 y 2 años, al respecto. El parámetro de escorrentía sugerido se convirtió en $C = 0.61$, esta tasa es cercana al parámetro de pavimentación con piezas cuadradas ($C = 0.6$) y es menor que la tasa del parámetro de pavimentación de bloques de hormigón ($C = 0.78$). En caso contrario, si tenemos en cuenta que las superficies superiores de 0.25 m^2 están conformadas con apareamiento en unidades de superficie de 0.5×0.5 metros, consecuentemente, el perjuicio por salpicaduras constituyen porción de la escorrentía superficial, obteniéndose el parámetro $C_{\text{salpicaduras+superficial}}$, que proporcionó valores dentro de la franja de 0.74 a 0.89; esos números están próximos del parámetro de pavimentación de bloques de cemento ($C = 0.78$), además son menores a la de pavimentación de hormigón ($C = 0.95$), sin embargo teniendo en cuenta factores que incluyen el tiempo de recorrido de la escorrentía en la superficie, las depresiones del suelo, la rugosidad y la evaporación de pavimento, y demás, cuyo dato debería aminorar. Por lo tanto, la pavimentación de piezas de suelo-cemento podrían ser considerado interno a la clase semipermeable en las medidas de superficie usadas.

2.2 Bases teóricas

Con el fin de ampliar el tema de la mejora de los suelos con disminuida capacidad portante a las obras viales por medio del empleo del relleno fluido, es vital delinear algunos puntos de vista esenciales que dirigen a la representación de este método. Es necesario comprender en los suelos ciertas características a modificar, la forma de

desarrollo del suelo y, posteriormente, el análisis del software de la técnica de desarrollo mediante RFSC.

2.2.1 Suelo Débil

Un suelo débil, desde una perspectiva de su estructura de cimentación, son suelos cuya subrasante o subbase o base granular sea inadecuada o insuficiente para una correcta conformación del paquete estructural del pavimento sobre el cual se asentará.

Para un mejor entendimiento de suelos que no son adecuados para la construcción será necesario una previa exploración y estudio del mismo, en dicha inspección de rocas y suelos, es necesario realizar primeramente un registro de terrenos y, en efecto, una planificación de investigación y exploración de campo junto con la carretera y en áreas de préstamo, con el fin de reconocer las diversas variedades de suelos pudiendo estar presentes.

La determinación del suelo nos permite descubrir la cortadura herbácea y/o artificial, delinear los estratos importantes del suelo, y los cortes sintéticos, delinear los principales estratos superficiales del suelo, demarcar las áreas en la que el suelo presenta regiones en las que los suelos tienen características comparables, además de descubrir las regiones de azar o elegir las zonas inestables o no aconsejables para ubicar la dirección de la carretera.

En dicha exploración será necesaria la ejecución de calicatas, cuya cantidad va depender de detalles como es el modelo de carretera a la que se tiene proyectado y cuya

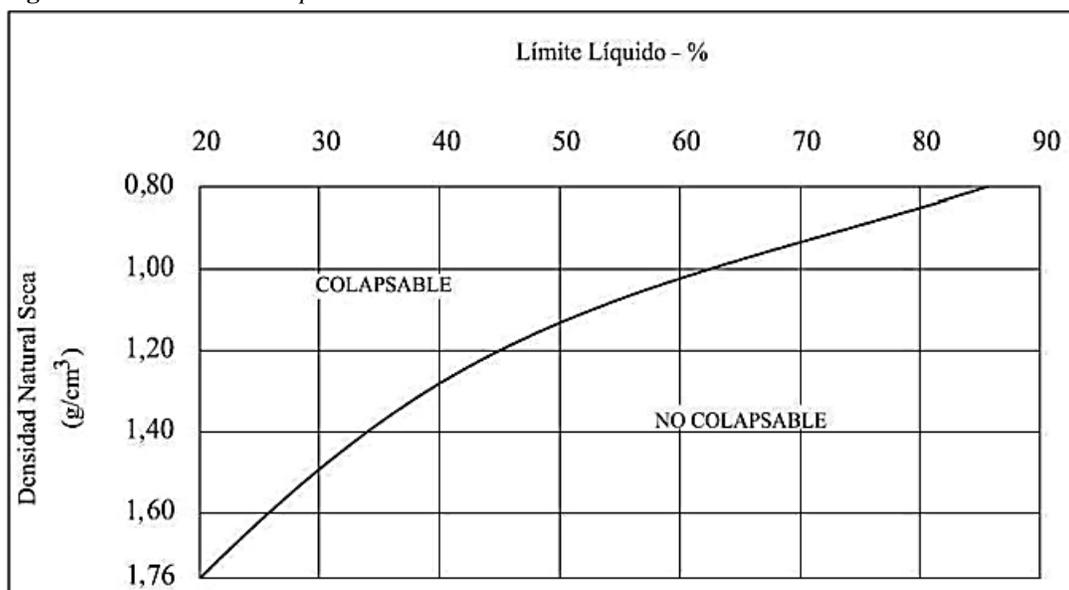
muestra será evaluada para la realización del ensayo del Módulo de Resiliente (M_r) o ensayo de CBR, el número a ensayar será dependiente del tipo de carretera.

A través de los ensayos mencionados será posible realizar una correcta descripción del tipo de suelo encontrado y su posterior clasificación AASHTO y SUCS.

2.2.1.1 Cimentaciones en suelo colapsable.

Un suelo colapsable es aquel que se alterna bruscamente cuando es sometido a crecimiento de la humectación o saturación y/o de la carga; en consecuencia, es totalmente necesario que un profesional sensato lleve a cabo una investigación en la que se piense o se haga evidente la prevalencia del hundimiento debido a los estilos de vida de los suelos colapsables. Entre las pruebas primarias sobre este tipo de sustancias, destacan las siguientes: fuerza de voluntad de las plasticidades del suelo - NTP 339.129:1999, comprobación para precisar los pesos volumétricos - NTP 339.139:1999, y prueba de humedades - NTP 339.127:1998; en la manera que se pueda comparar la capacidad de desmoronamiento de suelos dependiente del peso volumétrico seco (γ_d) y del límite líquido (LL) – RNE. E.050, 2020. Las estadísticas obtenidas en el ensayo concederán establecer la conexión entre suelos no colapsables y colapsables; como resultado los factores señalados anteriormente se sintetizan dentro de la figura a continuación.

Figura 1: *Potencial de colapso - criterios*



Nota: Con referencia a la NAVFAC DM 7 (Naval Facilities Engineering Command) tomada por la norma E.050. Extracción de imagen del *Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, RNE E.050 (Mecánica de suelos y cimentaciones 2020)*, Art. 35.2.2.

Los resultados de la capacidad de desmoronamiento en suelos se determinan por la conexión distintiva anterior; de este modo, el experto a cargo necesita verificar la colapsabilidad haciendo uso del enfoque estandarizado para la medición de la capacidad de desintegración del suelo - NTP 339.163. Cada muestra que se examine debe ser inalterada y, en el mejor de los casos, del tipo Mib; por lo tanto, el índice de colapso (I_c) se expresa por medio de la ecuación siguiente:

$$I_c(\%) = \frac{\Delta e}{1 + e_0} \quad \text{o} \quad I_c(\%) = \frac{\Delta h}{h_0}$$

Donde:

e_0 = Relación de vacíos inicial.

Δe = Variación de la relación de vacíos por el colapso mediante humedecimiento.

h_0 = Altura inicial de la muestra.

Δh = Variación de altura de la muestra.

Tabla 6: Clasificaciones de los índices de colapso I_c

Grado de colapso	Índice de colapso I_c (%)
Ninguno	0
Leve	0.1 a 0.2
Moderado	2.1 a 6.0
Moderadamente severo	6.1 a 10.0
severo	>10.0

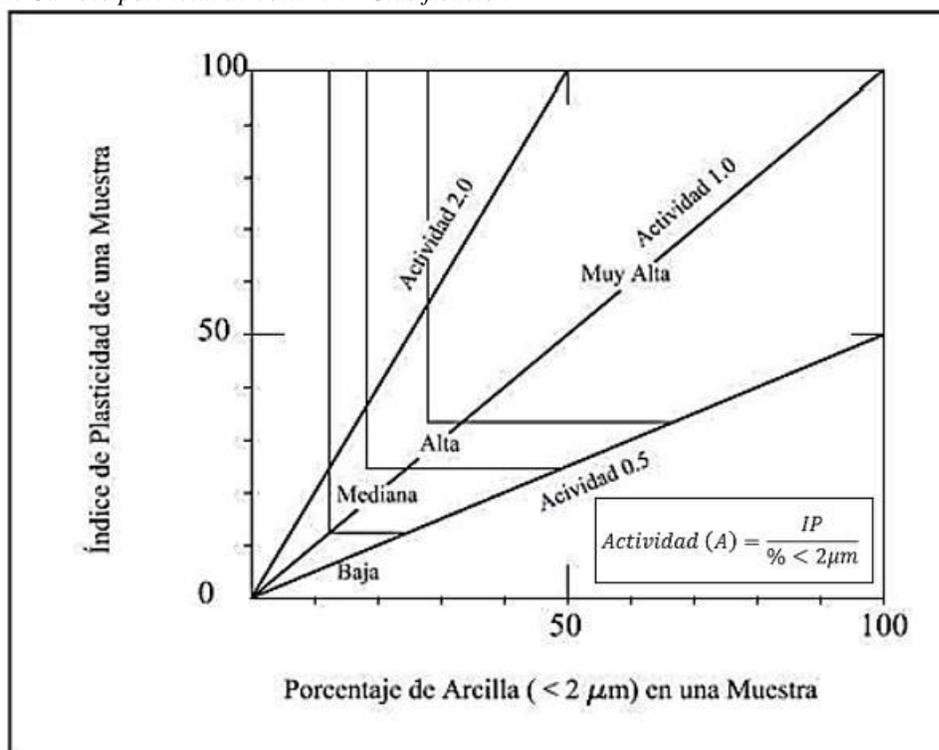
Nota: Selección de tabla del RNE E.050 (*Mecánica de suelos y cimentaciones, Ministerio de Vivienda y Construcción, 2020.*) del art. 35.3.4. Tomada en referencia a la NTP 339:163.

2.2.1.2 Cimentaciones en suelo expansivo.

Un suelo expansivo es aquel que tiene la propiedad de ser cohesivo; además, mientras está mezclado con agua, incluso su saturación, incrementa su extensión. Los cimientos construidos sobre este medio están sometidos a brillantes energías que se expanden provocando agrietamientos, levantamientos y roturas en la estructura. Del mismo modo que en el anterior caso, se necesita descartar la presencia de dicho tejido dentro del lugar en la que se podría cimentar la vía; De esta forma, el perito encargado advierte la existencia de un suelo cohesivo con alta plasticidad ($LL \geq 50$) y bajo grado de saturación; debe elaborar exámenes para estimar las plasticidades de suelo (NTP 339.129) y evaluaciones granulométricas mediante sedimentaciones (NTP 339.128), ello con el fin de comparar el interés (A) de la arcilla (RNE-E.050, 2020), el índice de plasticidad (IP) y la potencia de crecimiento del suelo cohesivo (basado en el porcentaje de escombros inferiores a $2\mu\text{m}$).

A fin de estudiar una posibilidad de perfeccionar los suelos con existencia de un suelo cohesivo, esta se obtendrá mediante la relación de los parámetros detallados y la expansión potencial (EP) previamente, que se destaca a continuación.

Figura 2: Cambio potencial de volumen - Clasificación



Nota: Con referencia a la NAVFAC DM 7 (Naval Facilities Engineering Command) tomada por la norma E.050. Adaptación de imagen del Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, RNE E.050 (Mecánica de suelos y cimentaciones 2020), Art. 37.2.2.

Tabla 7: Suelos Expansivos - clasificación

Potencial de expansión Ep (%)	Expansión en consolidómetro, bajo presión vertical de 7kPa (0.07 kgf/cm ²) (%)	Índice de Plasticidad IP (%)	Porcentaje de partículas menores que dos micras (%)
Muy alto	> 30	> 32	> 37
Alto	20 - 30	23 - 45	18 - 37
Medio	10 - 20	12 - 34	12 - 27
Bajo	< 10	< 20	< 17

Nota: Selección de tabla del RNE E.050 (Mecánica de suelos y cimentaciones, Ministerio de Vivienda y Construcción, 2020.) del art. 37.3.2. Tomada de Earth Manual, U.S. Bureau of Reclamation por la norma E.050, para mencionar un suelo expansivo y su clasificación.

La capacidad de desprendimiento establecerá previamente la aparición de suelos problemáticos; en rangos siguientes el perito designado realizará comprobaciones de Decisión de Hinchamiento Unidimensional (NTP 339.170) a fin de ilustrar el estilo de vida del suelo expansivo; por eso utilizará muestras conseguidas en fosas abiertas en situación inalterada, siendo preferible que sean del tipo Mib (RNE-E.050, 2020).

En preferencia, la base de las estructuras viales debe ser apoyados de manera más efectiva y completa cuando hay suelos no expansivos o con baja capacidad de crecimiento; en cualquier otro caso sería importante guardar un área suelta a fin de que el suelo debajo del pavimento se expanda y no perjudique las estructuras; en cambio, una buena manera para asegurar la aptitud interactuada de la forma del suelo es mejorar el problema en su estrato.

Sabiendo lo fundamental de conllevar a la mejora del suelo para garantizar la correcta transmisión de cargas por medio de la cimentación, existen múltiples estrategias que nos permiten resolver el dilema. En la presente investigación, se analiza una opción no muy reiterada, sin embargo, puede lograr buenos resultados desde una perspectiva económica y técnica.

2.2.2 Estabilización del Suelo

Una estabilización del suelo va definida a una manera para mejorar diversas propiedades físicas del suelo ya sea mediante métodos mecánicamente e inserción de

producción química, natural o sintética. Estas estabilizaciones mayormente son hechas en un suelo cuya subrasante es deficiente e inadecuada, en cuya ocasión se pueden llevar a cabo estrategias de mejora que se denominan estabilización, ya sea con suelo cemento, suelo cal, suelo asfalto y diferentes variedades de productos. Además, es viable mejorar la subbase granular o base granular por medio de su estabilización, para lograr un material de mejores propiedades ya sean físicas o químicas, esto se atribuye base o subbase granulada tratada (con asfalto o cal o cemento, y otros más).

Normativamente, el Ministerio de Transportes y Comunicaciones a través del Manual de Carreteras - Geología de Suelos, Geotecnia y Pavimentos (Sección de Suelos y Pavimentos) aclara métodos exclusivos de estabilizaciones tales como: mejora con ayuda de la sustitución del suelo de la subrasante, mejora por medio de agregados del suelo, estabilización mecánica del suelo, suelo estable con cemento, cal, emulsión asfáltica, escoria, estabilización con geosintéticos (geomallas, geotextiles, u otros), estabilización química de suelos. A pesar de ello, es vital destacar la importancia de considerar ensayos laboratoristas que muestren la idoneidad y con segmentos elaborados que confirmen los mejores efectos.

Algunos de los criterios principales a tomar en cuenta para estabilizar un suelo son:

- Podrían considerarse como materiales adecuados para las capas de los suelos de subrasante con $\text{CBR} \geq 6\%$. Si es kilómetros menos (subrasante Insuficiente o subrasante insuficiente), o hay zonas húmedas del barrio o regiones suaves, se va a recordar de un estudio especial para las estabilizaciones, mejora o alternativa, en

el que el ingeniero designado examinará varias opciones de estabilización o solución, tales como: alternativa del suelo base, estabilización mecánica, estabilización con geosintéticos (geomallas, geotextiles u otros), estabilización con aditivos o productos que mejoren los hogares del suelo, capas de arena, pedraplones, Elevación de la rasante o cambio de la línea de doble calzada si las opciones estudiadas surgen muy complejas y costosas.

- Si la capa de subrasante es limosa o arcillosa y, cuando está húmeda las partículas de estas sustancias pueden adentrarse en la capa granular del pavimento, contaminándolas, se debe proyectar un geotextil o alguna capa de tela anticontaminación de 0.1 m. de grosor como mínimo, conforme prueba del ingeniero designado.
- El suelo de la subrasante debe estar superior al nivel de la subrasante. Escritorio de agua como mínimo 0,60 m en el caso de una subrasante excelente y óptimo; a 1,20 m en el caso de una subrasante insuficiente; a 1,00 m en el caso de una subrasante regular y a 0,80 m en el caso de una subrasante buena y regular. Si es imprescindible, se podrían colocar capas anticontaminantes o sub-drenajes y/o el rasante o de drenaje hasta el nivel especificado.

2.2.3 Mejoramiento de suelo empleando relleno fluido suelo-cemento

La mejora en el suelo y la aplicación del relleno fluido se trabajan en contexto al código ACI 299R-99; dicho registro se dirige a analizar el proceder de cada material de baja resistencia controlada (MRBC), explicándolos conforme "un elemento

autocompresible, es un agente cementicio utilizado específicamente como un relleno secundario o como una opción para el relleno compactado". Es necesario resaltar que dichos materiales no son siempre hormigón y no puede sustituir el hormigón, ni debe ser confundido con suelo-cemento compactado, debido a que los materiales de baja resistencia controlada (MRBC), no requieren algún curado o consolidación para alcanzar su resistencia requerida.

Al inicio fue considerado que las sustancias de bajas resistencias gestionadas (MRBC), tienen varias asignaciones que consisten en flujos capaces de relleno, rellenos incompresibles, rellenos con densidades gestionadas, suelo-cemento fluido, suelo-cemento plástico, entre otras.

El relleno fluido suelo-cemento es una sustancia que permite utilizarse para sustituir un suelo deficiente; puesto que, en función de dosificaciones asociadas a los deseos de los proyectos, es posible adquirir una resistencia de compresión con variación de 7 a 83 kg/cm². Dichos datos de resistencias podrían ser además menores y oscilar en torno a los 3,5 kg/cm²; aun así, estas situaciones podrían ser suficientes para algunas tareas que no requieran tantas resistencias, debido a que esta tasa es igual a las que se adquieren en la mejora de un suelo con relleno compactado tradicional.

El código ACI 299R decreta que, en existencia de suelo débil, los cientos procedentes de su estructura consiguen ser asignados en una localización superior. En este componente, las desigualdades o desniveles generados con la ayuda de los movimientos de tierra no se convierten en un problema, ya que las cualidades del RFSC permiten disponer una superficie nivelada de forma automática.

El empleo de dicha sustancia material en la mejora de un suelo y sus aplicaciones están de forma directa relacionado con las sustancias de uso y las cualidades que se van a recibir. A continuación, pasamos a ver los factores de esta sustancia material.

2.2.3.1 Los Materiales.

De manera genérica, las sustancias para dosificar el RFSC son el cemento, el agua, la tierra, los áridos gruesos, las cenizas volantes y los aditivos que puedan ser necesarios para obras especiales. Aunque los rasgos de esas sustancias pueden cumplir con las directrices de la ASTM o de otros países, no siempre es esencial que se utilicen materiales estandarizados. En este caso, las normas para la elección de las sustancias deben orientarse a disponibilidades, costes, situaciones únicas que incluyen la densidad suficiente, la facilidad de excavación, la capacidad de flujo (ACI 229R, 1984). Asimismo, logran utilizarse técnicas por convención como las dosificaciones del hormigón simple.

En los posteriores apartados se exponen las propiedades y los rasgos de las sustancias que pueden utilizarse habitualmente para dosificar el relleno fluido suelo-cemento.

2.2.3.1.1 Agregado.

Como insumo de mayor participación es el agregado en la RFSC. Su elección se basa específicamente en la Norma ASTM C33. Los rasgos de sus distribuciones granulométricas podrían alterar alguna propiedad física de su combinación, incluyendo la energía de compresión y la fluidez (ACI 299R, 1984).

Su preferencia de selección del RFSC ya no rige alguna norma específica, puesto que se podría utilizar las políticas en localidad que se asocian a esta forma de paño; Ejemplificando, Santaella & Salamanca Correa (2002), asumieron como fundamento la granulometría enganchada a través de un proyecto conocido con relleno fluido en Colombia, organizando que todo agregado cumpliera con la siguiente necesidad:

Tabla 8: Agregado en relleno fluido - granulometría

Tamiz Pulg. (mm)	Agregado	
	Natural	Triturado
½" = 12.5	-	-
3/8" = 9.5	100	100
N°4 = 4.75	95-100	95-100
N°8 = 2.36	80-100	80-100
N°16 = 1.18	50-85	50-85
N°30 = 0.589	25-60	25-60
N°50 = 0.297	10-30	10-30
N°100 = 0.149	2-10	2-10
N°200 = 0.075	0-5	0-7

Nota. La tabla decreta la granulometría dependiente al porcentaje que atraviesa por cada tamiz el suelo. Tabla de Estado adecuada *del arte del relleno fluido para subbase y bases granulares* (p.13), por Santaella y Salamanca Correa, 2002.

Tabla 9: Cumplimiento de los agregados para sus propiedades físicas y químicas

Requisitos	Valor máximo permitido
Módulo de finura	1.7
Absorción (%)	2.5
Material que pasa el tamiz N°200 (%)	7
Materia orgánica	Escala de color 3
Partículas deleznableles (%)	1
Reactividad potencial a los álcalis del cemento	Ver ASTM C289

Nota. Tabla de Estado seleccionada *del arte del relleno fluido para subbase y bases granulares* (p.13), por Santaella y Salamanca Correa, 2002.

Por otra parte, el suelo granular recibido de las excavaciones provienen de ser fuente potencial de agregado; pero, los hogares y excepcionales mantendrían un efecto

sobre la conducta corporal del agregado; Ejemplificando, el suelo residual que corresponde a la clase de arenas limosas con granos en un 20% que sobrepasan el tamiz No. 2 cien (cero.075 mm) vienen a ser excelentes para realizar los combos; Antes bien, el suelo que regala arcillas no pueden ser asumidos dentro de las dosificaciones del RFSC, correspondiente a que las masas no controlan combinarse absolutamente, el agregado adquiere longevidad, solicita un extra de agua, surgen fuerzas inconstantes y contracciones.

El código ACI 299R decreta diversas especificaciones técnicas en la elección de los áridos, que deben considerarse interno a las condiciones siguientes:

- Arena gruesa con grava.
- ASTM C33. Especificaciones de agregados normalizados.
- Los desechos de productos de cantera, cuyo tamaño máximo de partícula sea 3/8".
- Suelo arenoso nativo, que atraviesan más de 10% el tamiz N°200 (0.075mm).
- Suelo arenoso con tamaño máximo de partículas igual a 3/4".

Se observa que, a pesar de que no hay alguna reglamentación precisa en la elección de agregados para el RFSC, las opiniones específicas acceden, de modo técnico, obtener una información de una granulometría adecuada para combinar; a pesar de ello, los tratados deliberados de las carreteras en granulometría de la mezcla vendrán a ser el aspecto determinante en su elección para un apropiado tipo de vía.

El Código ACI 299R informa adicionalmente que podría utilizarse sustancias no estandarizadas en la mezcla, en dicha clase están, por ejemplo, residuos de hormigón, residuos de arena de fundición, áridos compactados, entre otros; Aunque estas mercancías son baratas para las mezclas del relleno fluido suelo-cemento, su empleo se debe limitar a proyectos fáciles en la que no se requieran resistencias mayores.

2.2.3.1.2 El Cemento.

El elemento que ofrece resistencia y concordia en mezcla es el cemento. En los programas máximos, es habitual aplicar el cemento tipo II y/o I portland, que podría estar normalizado a través de la norma ASTM C150; además, se pueden utilizar cementos conformes a la norma ASTM C595 si las evaluaciones anteriores han producido consecuencias ideales (ACI 299R, 1984). En función de la resistencia deseada, el cemento contenido podría variar de 60 y 200 kg en un metro cúbico de relleno fluido suelo-cemento (Santaella & Salamanca, 2002).

Se logra ver, que no hay preocupaciones complicadas en las dosificaciones del cemento para el agregado de RFSC. El discernimiento importante para decidir la ración es la preferida resistencia en relación a una actividad concreta, por lo que es imprescindible realizar comprobaciones previas para perfilar la porción fija de cemento solicitado, averiguando la optimización máxima, ya que la virtud importante del relleno fluido suelo-cemento es mitigar los precios de la composición en rellenos estructurales.

2.2.3.1.3 El Agua.

El agua es responsable para la hidratación del cemento en el proceso de combinación para proporcionar la adhesión de cada partícula fuerte. Como es sabido, el agua utilizada para los combos de hormigón convencionales es adecuada dentro de la dosificación del relleno fluido suelo-cemento; pero, el código ACI 299R decreta lo importante que es no olvidar los rasgos proporcionados por el uso de la norma ASTM C-ninety four enfocado al agua. Conforme dicha norma, el agua combinada deberá ser aparentemente limpia y clara. Si incorpora alguna sustancia que se descolora o entrega inusual, sabor no deseado o algún olor que el propósito de la sospecha, no deben ser utilizados, a menos que las estadísticas de verificación anteriores muestran que ahora no tiene un efecto sobre la mezcla agradable.

Como el RFRC es un material autocompactante y autonivelante, suele utilizar mayor agua que el concreto convencional. Esta cantidad oscila de 140 y 350 litros según metro cúbico de la mezcla, mientras que el RFSC lleva más cenizas o tiene un contenido excesivo de finos, el agua contenida para una fluidez buena podría alcanzar a 620 litros. (Santaella & Salamanca, 2002).

El agua, de igual forma que el cemento, tiene una amplia gama para la dosificación, sin embargo, esta vez el grado de fluidez requerido o preferido en una misión específica debe ser entregado a la resistencia deseada.

2.2.3.1.4 *Ceniza volante.*

La procedencia de este elemento es por la reacción de combustión del carbón, dentro de las dosificaciones del relleno fluido suelo-cemento podría dar mejora a la mezcla en su fluidez. Asimismo, posee la ventaja de acrecentar la resistencia a un plazo largo y podría disminuir la exudación, la densidad, la permeabilidad y la contracción de los combos. No siempre es imprescindible el uso de cenizas si la resistencia a conseguir está dentro de la variación entre 5 y 15 kg/cm²; y en estándar la porción en cuanto a las cenizas volantes podría variar de 0 a 120 kg/m³ (Santaella & Salamanca, 2002).

El empleo de la ceniza volante va a restringirse para tareas en las que su uso sea exactamente requerido, puesto que el relleno fluido suelo-cemento es un paño que viene caracterizado por su simplicidad en la preparación del árido y por el progreso de cada insumo importante en sus dosificaciones.

2.2.3.1.5 *Aditivo Químico.*

Un aditivo químico actúa dentro de la combinación del relleno fluido suelo-cemento disminuyendo o aumentando alguna propiedad; ejemplificando, los inclusores de aire aumentarán la fluidez y disminuirán tanto la resistencia como la densidad de la combinación; sin embargo, ciertos aditivos espumantes se utilizan para suministrar mezclas que alcanzan datos menores a 1000 kg/m³ respecto a su densidad. También hay aditivos que tienen un efecto inmediato sobre las consistencias de la mezcla; en este marco, se utilizan reductores y acelerantes de agua en dosificación con contenido mínimo

de finos, para disminuir los asentamientos y acelerar los fraguados. (Santaella & Salamanca, 2002).

Del mismo modo que la ceniza volante, se deberá realizar una aplicación totalmente exhaustiva en el empleo de un aditivo químico, conforme a que ciertos insumos logren aumentar su valor por cada unidad métrica cúbica del relleno fluido suelo-cemento, lo que podría generar obstáculos en su empleo; la previa evaluación que vincule la parte financiera y técnica decidirá si es mucho más importante utilizar productos químicos.

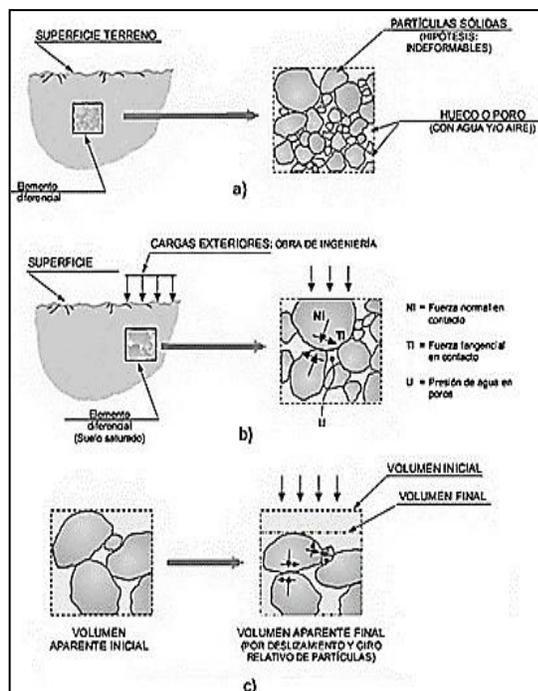
2.3 Bases conceptuales

2.3.1 *Los Suelos*

En tendencia, las carreteras se adaptan a estratos de roca o suelo; estos medios reciben el propio peso del pavimento, las cargas generadas con la ayuda del servicio que ofrecen y las cargas exteriores. El valor general de las cargas va distribuido mediante el tramo volumétrico para proscribir secciones denominadas zonas de influencia, alterando el medio en toda condición herbácea.

Todo suelo representa el principal recurso en diversas obras civiles y tiene la índole primordial de actuar como soporte de diversas plataformas viales; debido a sus muy diversos rasgos, es muy vital estudiar las propiedades consistentes en su inicio, la repartición en sus escombros, su respuesta ante su resistencia a las fuerzas externas y al agua.

Figura 3: Sistema de partículas de los suelos



Nota: en la figura a) El suelo y su constitución natural, b) Acción en los suelos, c) movimientos de partículas originadas por acción exterior. Seleccionado de *Ingeniería Geológica* (p.21), de Gonzales de Vallejo et al. Madrid, 2002, PrenticeHall.

Tomando en cuenta las anteriores consideraciones, podríamos asegurar que es muy importante identificar la clase de suelo sobre el que se proyecta construir una infraestructura determinada. Asimismo, es importante reconocer las propiedades mecánicas, físicas y químicas conaturales al suelo estudiado. Para esto, se redacta una contemplación de sus tipos, sus propiedades del suelo y su clase basada totalmente en la dimensión de cada partícula, considerando normas estandarizadas.

2.3.1.1 Propiedades básicas del suelo.

2.3.1.1.1 *Tamaño de partículas.*

Para una indagación estandarizada del tamaño de las partículas del suelo, las instituciones que incluye a American Society for Testing and Materials (ASTM Internacional) montaron términos para las nomenclaturas de las clases de suelos.

Tabla 10. Clasificaciones de los suelos conforme los tamaños de sus partículas

Tipo	Tamaño	Característica
Grava	Entre 8.10cm y 2mm	Granos visibles, no retiene agua, presenta grandes vacíos.
Arenas	Entre 2 y 0.060mm	Se observan a simple vista, con el agua forman medios continuos.
Limos	Entre 0.00 y 0.002mm	Retiene el agua formando una pasta.
Arcillas	< a 0.002mm	Formado por minerales, gran capacidad de retener el agua.

Nota. Generación de tabla por *Ingeniería Geológica*, de Gonzales de Vallejo et al. Madrid, 2002, PreticeHall.

Sabiendo el tipo de suelo respecto de su tamaño de partículas, es conveniente examinar su comportamiento en presencia de una variante dentro de las humedades de las masas, puesto que la indagación ofrecerá un marco extenso al medio que se analiza.

En un inicio, “al observador de campo estas propiedades son expresadas a través de los sentidos. Observaciones de campo e investigaciones experimentales indican que la consistencia del suelo varia con textura, materia orgánica, el total de material coloidal, estructura y contenido de humedad” (Rucks et al., 2004, p. 27).

2.3.1.1.2 *La Cohesión.*

Esta propiedad de la cohesión se focaliza esencialmente en averiguar los grados de adherencias de cada partícula de suelo entre sí; si “los granos del suelo se pegan de tal manera que es necesario aplicar alguna fuerza para separarlos en el estado seco, se dice que el suelo es cohesivo” (Bowles, 1988, p.36).

2.3.1.1.3 *La Permeabilidad.*

“Para el estudio de la permeabilidad es necesario conocer otros parámetros relacionados con la viscosidad, distribución del tamaño de los poros, distribución granulométrica, relación de vacíos, rugosidad de las partículas minerales y grado de saturación del suelo” (Das, 1999, p. 83). Por lo tanto, para este parámetro su decisión técnica, es muy importante realizar pruebas de laboratorio o de campo para obtener el coeficiente de permeabilidad.

Tabla 11: *Variedad de suelos y sus coeficientes de permeabilidad*

Tipo de suelo	Drenaje	K (cm/s)
Gravas limpias	Bueno	10 ²
Gravas limpias	Bueno	10 ¹
Arenas limpias	Bueno	1
Arenas limpias y mezclas de grava	Bueno	10 ⁻¹
	Bueno	10 ⁻²
	Bueno	10 ⁻³
Arenas muy finas limos orgánicos e inorgánicos, mezclas de arena y arcilla, morrena glacial, depósitos de arcillas estratificadas	Bueno	10 ⁻⁴
	Malo	10 ⁻⁵
	Malo	10 ⁻⁶
Suelos impermeables, por ejemplo, arcillas	Prácticamente	10 ⁻⁷
		10 ⁻⁸

homogéneas debajo de la zona meteorizada	impermeable	10 ⁻⁹
--	-------------	------------------

Nota. La tabla nos ofrece los típicos valores para los coeficientes de permeabilidad (K) y cualidades en las capacidades de drenar los suelos. Generado por *Ingeniería de Cimentaciones* (p. 71), de Peck et al., 1987, Limusa.

2.3.1.2 Propiedades volumétricas y gravimétricas.

2.3.1.2.1 *Humedad.*

En una definición básica del término, “la humedad de los suelos o contenido de agua de un suelo es la razón entre el peso del agua de los poros del suelo (W_w) y el peso de los sólidos del suelo (W_s)” (Bowles, 1988, p.38). De forma matemática la representación de dicho parámetro va como:

$$\omega = \frac{W_w}{W_s} \times 100$$

Desde la perspectiva de las cimentaciones, la humedad de los suelos se asocia con el nivel de agua, también conocido como nivel freático; para conocer este parámetro se acude a lo observado de los pozos realizados en los depósitos de suelo. Correspondiente al fenómeno de la capilaridad, típico de cada suelo, es probable conocer tres secciones que dan carácter a los grados de humedades de cada masa de suelos; por debajo de la capa de agua el suelo es totalmente saturado, por encima de este nivel, el grado de saturación va en función del tamaño de los granos, el clima y, por último, la sección superficial que genéricamente suele considerarse seco (Peck et al., 1987).

2.3.1.2.2 *La relación de vacíos.*

Las relaciones o índices de vacíos es un valor para determinar el volumen de suelo que no se ocupa por sólidas partículas. Cuan mayor sea la cantidad de este parámetro, más suelto será el suelo; de modo matemático “se define como la razón del volumen de vacíos al volumen de sólidos” (Das, 1999, p. 18), o por medio de la fórmula:

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

La obtención de este parámetro se relaciona inmediatamente con el término de "compacidad". Este carácter del suelo los agrupa en función de las distribuciones y asociación en cada partícula. De este modo, un suelo compactado es aquel en el que la partícula sólida tiene excesivo grado de asociación y su potencial deformativa puede ser muy limitado; de otra parte, en un suelo poco compacto, la partícula está muy libres, entonces son mayores propensos a la deformación bajo índole a similares cargas.

2.3.1.2.3 *La Porosidad.*

De igual modo que la relación de vacíos, la porosidad (n) está igualmente asociada a la volumetría de las principales fases del suelo (aire, agua y sólidos), esto es que, asocia sistemas de espacios vacíos. “Este parámetro se define como la razón entre el volumen de vacíos y el volumen total de la masa de suelo analizada” (Das, 1999, p. 18), de modo matemático se expresa por la fórmula:

$$n = \frac{V_V}{V} \times 100$$

Generalizando términos, tanto la porosidad y la relación de vacíos manifiestan la cantidad de poros en una respectiva masa del suelo. La expresión de la relación de vacíos se da en decimales y podrían lograr datos mayores a 1, al tiempo que la porosidad se expresa en porcentaje. Ambas expresiones se utilizan generalmente en mecánica de suelos y cimentaciones; pero, la relación de vacíos se utiliza más habitualmente en suelos como parámetro característico (Lambe, 2004), de modo matemático sus fórmulas relacionadas por esta propiedad son:

$$n = \frac{e}{1 + e} \quad e = \frac{n}{1 - n}$$

2.3.1.2.4 El Peso unitario.

El peso volumétrico o peso por unidad de volumen (γ), es alguna de las más importantes propiedades del suelo. Ejemplificando, se debe conocer para lograr el cálculo producida por las sobrecargas o de la presión de tierra. “En un aspecto general se define como la relación entre el peso total del suelo incluyendo el agua (W) y el volumen total (V) de la muestra” (Peck et al., 1987, p. 38).

$$\gamma = \frac{W}{V}$$

2.3.1.2.5 El Grado de saturación.

Es el parámetro que define la parte de los espacios vacíos en una masa de suelo que contiene agua; equivalentemente, es el cociente volumétrico del agua respecto al volumen de vacíos (Das, 1999); de modo matemático tiene la siguiente fórmula:

$$S = \frac{V_s}{V_v} \times 100$$

De la fórmula anterior se deduce que la variedad de valores para que se tome por medio de S está dentro del rango entre 0 a 100%; en suelos completamente saturados $S = 100\%$ y en suelos muy secos $S = 0\%$.

2.3.1.3 Tamaño de partícula.

Generalmente, los suelos se denominan grava, arena, limo o arcilla, en función de la grandeza de sus partículas; numerosas instituciones, entre las que se encuentran el Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA), el Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT), la Asociación Americana de Funcionarios de Carreteras y Transporte (AASHTO) se inclinan a esta categoría; pero, el sistema que cuenta con la mayor cantidad de afiliados es el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), es decir, (SUCS), que fue acogido por medio de la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (ASTM).

Para realizar esta técnica en los suelos es imprescindible tratarlos con un régimen complejo en la que su característica fundamental para su tipo son las dimensiones de sus partículas, dicha categoría puede ser terminada por el uso de metodologías con sistemas

de evaluación y definiciones de propiedades, para que conformen un lenguaje técnico que pueda ser deducido por expertos de latitudes únicas (González de Vallejo et al., 2002). Luego, para precisar la variedad del tamaño de las partículas, se completa la evaluación mecánica de las muestras secas y, en función de cada condición, se podrían utilizar métodos estandarizados, específicamente, la evaluación hidrométrica para partículas inferiores a 0,075 mm de diámetro y la evaluación por tamizado para tamaños de partículas superiores a 0,0075 mm de diámetro (Das, 1999). Los procesos son explicados a continuación.

2.3.1.3.1 *Análisis Granulométrico.*

Por obvias razones no es posible decidir la realidad del tamaño de cierto grano existente en la masa del suelo, a consecuencia en condiciones aplicativas y reales lo correcto a hacer es organizar proporciones de suelo basadas totalmente en relativos tamaños con reconocimiento a una muestra general y con una porción de muestra que se representa estadísticamente. La evaluación granulométrica es una forma mecánica que faculta realizar dicha actividad porque organiza al suelo en porciones a través de su tamaño en rangos (Bowles, 1981).

Los ensayos de análisis granulométrico se realizan teniendo una representación de muestra de los suelos, secándola y desintegrando en seco las partículas en su conjunto. Esta muestra se hace atravesar por un grupo de tamices haciendo agitar el grupo. Luego, lo retenido en cada tamiz se pesa, con lo cual, conociendo de la muestra su peso inicial,

se decide la proporción porcentual de material C_j , que atraviesa en cada tamiz con sus respectivos diámetros D_j :

$$C_j = \frac{\sum_{i=j+1}^{n+1} P_i}{P} \times 100 \quad P = \sum_{i=1}^{n+1} P_i$$

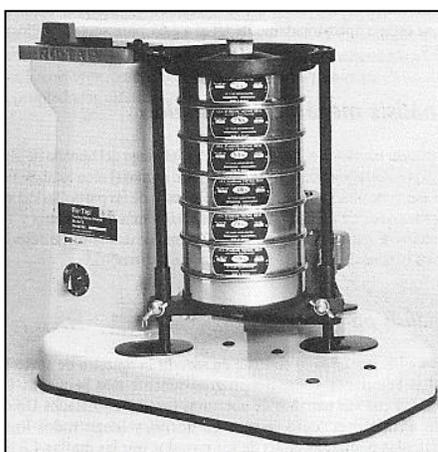
Representando P_i el peso que se retiene por el tamiz de diámetro D y P el peso total seco de la muestra. P_{n+1} es el peso retenido por la base ciega que va debajo de los tamices en forma de columna (González de Vallejo et al., 2002).

Tabla 12: Tamices conforme ASTM y sus diámetros estándar

Antes de 1970	Actual
4" (101.60 mm)	100 mm
1 1/2" (38.1 mm)	37.5 mm
1/4" (6.35 mm)	6.30 mm
N°20 (0.841 mm)	0.850 mm
N°100 (0.149 mm)	0.150 mm
N° 200 (0.074 mm)	0.075 mm

Nota. Se aprecia en la tabla las atribuciones finales legales del ASTM y de la ONNEU (Oficina Nacional de Normas de los Estados Unidos). Seleccionado del manual de laboratorio de suelos en Ingeniería Civil (p. 37), de Bowles, 1981, McGraw-Hill.

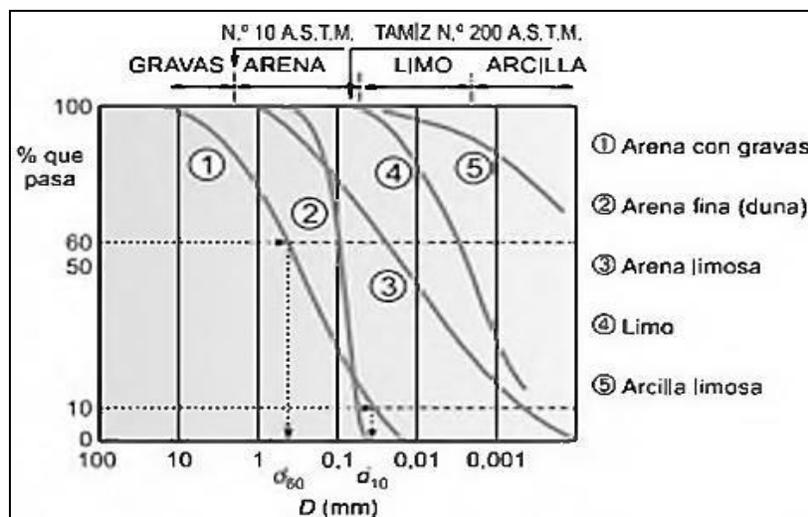
Figura 4: Ubicación y agrupación vertical de tamices en prueba de laboratorios



Nota. La agrupación de tamices o mallas se localizan en un sistema de vibración, luego del tiempo de vibración se fija las masas de suelos retenidos en cada tamiz. Seleccionado de Fundamentos de Ingeniería Geotécnica (p. 8), de Das, 1999.

Con dichos valores podemos construir las curvas granulométricas de suelos, que vincula $\log D_j$ con C_j .

Figura 5: Distribuciones Granulométricas y sus curvas



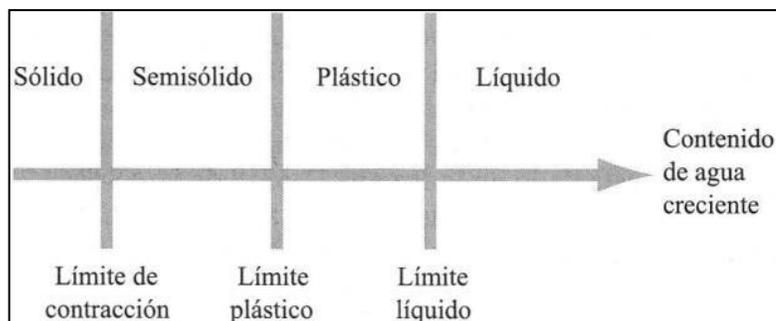
Nota: Se muestra en la figura la típica forma de las variedades de suelos; a pesar de ello, este podría modificarse al elaborar el particular ensayo. Selección de imagen de *ingeniería geológica* (p.22), de Gonzales de Vallejo et al. Madrid, 2002, PreticeHall.

2.3.1.4 Consistencia del suelo.

2.3.1.4.1 Límites de Atterberg.

Los límites que Atterberg propuso son principios que resuelven, en porcentaje, la dosis de agua en la que cierta muestra de suelo cohesivo adquiera o tenga ciertas propiedades; ejemplificando, el cambio de estado sólido al semisólido se lleva a cabo mediante la denominada límite de contracción, para el paso del estado semisólido al plástico es muy importante interrumpir exactamente el límite plástico, por último, este estado final pasa a un estado fluido superando el límite líquido (Das, 1999).

Figura 6: Límites de Atterberg

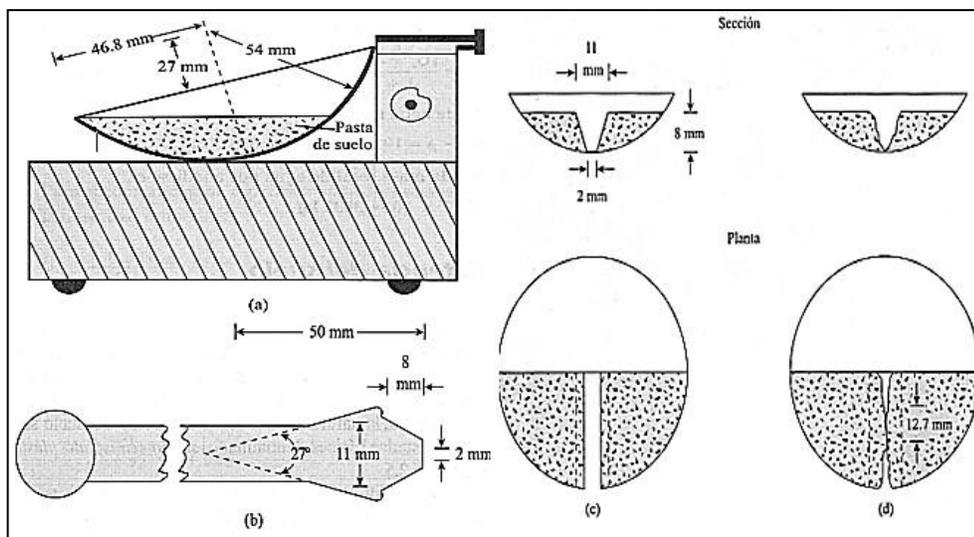


Nota. Selección de imagen de *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica* (p. 27), de Das, 1999.

En los párrafos siguientes se describen en modo abierto las fórmulas, el procedimiento y otros asuntos de manera técnica relacionados con cada límite.

- **Límite líquido (LL)**, para dar cantidad a este parámetro, se utiliza una base de hule duro, una copa de bronce y un ranurador; para medir en porcentaje el contenido de agua, necesario para que una ranura de 12,7 mm se cierre a 25 golpes (Lambe, 2004). “Casagrande (1932) concluyó que cada golpe en un dispositivo estándar para límite líquido corresponde a una resistencia cortante del suelo de aproximadamente 1g/cm^2 . Por consiguiente, el límite líquido de un suelo de grano fino da el contenido de agua para el cual su resistencia cortante del suelo es aproximadamente de 25g/cm^2 ” (Das, 1999, p. 28).

Figura 7: Límite líquido determinado por copa de Casagrande



Nota. Dicha prueba se elabora conforme al ASTM D-4318, (a) Sistema para las pruebas; (b) el ranador; (c) pastas de suelos previo a las pruebas; (d) pastas de suelos posterior a las pruebas. Selección de imagen de *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica* (p. 28-29), de Das, 1999.

- **Límite plástico (LP)**, para cuantificar este parámetro se hace, posiblemente, una de los ensayos más sencillos de la ingeniería geotécnica, su valor es obtenida a través de la medición de la humedad del suelo mientras comienza a desmoronarse en pequeños cilindros de suelo donde el diámetro es de forma aproximada 3 mm (Lambe, 2004).

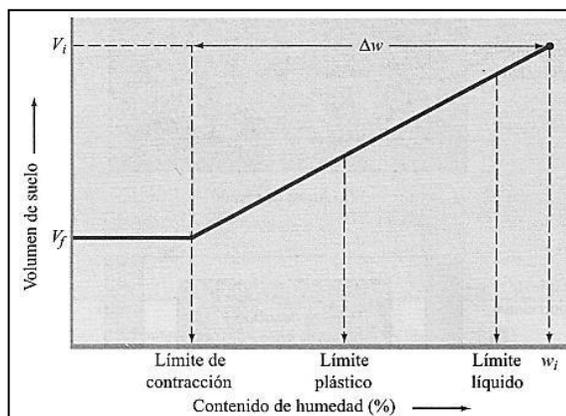
Figura 8: Pruebas de límite plástico



Nota. Dichas pruebas se elaboran conforme al ASTM D-4318. Selección de imagen de *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica* (p. 29), de Das, 1999.

- **Límite de contracción (SL)**, el cálculo de este parámetro es sin importar el tipo de suelo que estudie cambios grandes de volumen con la variación del contenido de humedad (Bowles, 1988). “La masa de suelo se contrae conforme se pierde gradualmente el agua del suelo. Con una pérdida continua de agua, se alcanza una etapa de equilibrio en la que más pérdida de agua producirá a que no haya cambio de volumen” (Das, 1999, p. 30).

Figura 9: Definiciones de los límites de contracción



Nota. Selección de imagen de *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica* (p. 30), de Das, 1999.

- **Índice de plasticidad (PI)**, su representación es el cambio que existe entre el límite plástico y el límite líquido del suelo (Das, 1999), de modo matemático está definida por la fórmula: $PI = LL - LP$
- **Índice de liquidez (LI)**, naturalmente es en relación de su variación de su contenido de humedad y la masa del suelo dentro del laboratorio. Su valor es asociado a las situaciones que la arcilla tiene en un estado natural, si $LI < 1$ son mantos arcillosos fuertemente sobre consolidados y presentan un material de contenido de agua natural inferior a la del límite plástico, si $LI > 1$ estamos

ante una arcilla sensible y mientras se hace sobre ella se transforma justo en una forma viscosa que fluye como un líquido (Das, 1999). Generalizando dicho parámetro es fijado mediante la fórmula, en la que w simboliza respecto al suelo su contenido de humedad.

$$LI = \frac{w - PL}{LL - PL}$$

2.3.1.5 Clasificación de los suelos.

2.3.1.5.1 Sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS).

Este sistema, que en un principio estaba orientado al ámbito militar, fue planteado en 1942 por Arthur Casagrande, con la denominada sistema de clasificación para aeropistas; en 1969 fue acogido por la Sociedad Americana de Pruebas y Materiales bajo el denominado método estándar de clasificación de suelo aplicado en las obras de ingeniería, ASTM D-2487 (Peck et al., 1987). Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), detalla a los suelos en clasificación tomando en consideración los mencionados criterios a continuación:

Los suelos de grano grueso se clasifican en:

1. Suelos arenosos y arenas; símbolo S .
2. Suelos gravosos y grava; símbolo G .

Las arenas y gravas se clasifican por separado en cuatro grupos:

- a. Mal graduado, material limpio relativamente; símbolo P .
- b. Material bien graduado con excelente cementante arcilloso; símbolo C .

- c. Bien graduado, material limpio relativamente; símbolo *W*.
- d. Material grueso con finos, comprendidos en los anteriores grupos; símbolo *M*.

Los suelos finos se clasifican en tres grupos:

- 1. Arcillas orgánicas y Limos; símbolo *O*.
- 2. Suelos arenosos muy finos y suelos limosos inorgánicos; símbolo *M*.
- 3. Arcillas inorgánicas; símbolo *C*.

En estos tres grupos cada uno de estos suelos finos se subclasifican según el límite líquido en:

- a. Suelo con alta proporción de materia orgánica, usualmente fibrosa, como los fangos de muy alta compresibilidad y la turba, no se subclasifican y se ubican en un grupo; su símbolo es *Pt*, en base a la clasificación de simple vista.
- b. Suelo fino con límite líquido superior a 50; es decir, de alta compresibilidad; símbolo *H*.
- c. Suelo fino con límite líquido de 50 o inferior; es decir, de mediana a baja compresibilidad; símbolo *L* (Peck et al., 1987).

Figura 10: Partículas gruesas en suelos y su clasificación SUCS

DIVISIÓN	PROCEDIMIENTO DE IDENTIFICACIÓN EN EL CAMPO	SÍMBOLO	NOMBRES TÍPICOS	CRITERIO DE CLASIFICACIÓN EN LABORATORIO		
SUELO DE PARTICULAS GROSAS Más de la mitad del material es retenido en la malla número 200	GRAVAS Más de la mitad de la fracción gruesa es retenida por la malla N°4.	GRAVAS LIMPIAS (poco o nada de partículas finas)	Amplia gama en los tamaños de las partículas y cantidades apreciables de tamaños intermedios	GW Gravas bien gradadas, mezclas de grava y arena con poco ó nada de finos	Coeficiente de uniformidad Cu : mayor de 4 Coeficiente de curvatura Cc : entre 1 y 3 $Cc = \frac{D_{60}/D_{10}}{(D_{30})^2/D_{10}^2}$	
		GRAVAS CON FINOS (cantidad apreciable de partículas finas)	Predominio de un tamaño o un tipo de tamaño, con ausencia de algunos intermedios.	GP Gravas mal gradadas, mezclas de grava y arena con poco ó nada de finos		No satisfacen todos los requisitos de gradación para GW.
		ARENAS CON FINOS (cantidad apreciable de partículas finas)	Fracción fino poco o nada plástica (para identificarla véase grupo MI)	GM d u	Gravas limosas, mezclas de grava, arena y arcilla.	Debajo de "A" I.P. menor que 4 Arriba de "A" y con I.P. entre 4 y 7 casos de frontera, uso de símbolos dobles.
			Fracción fina plástica (para identificarla véase grupo CL)	GC	Gravas arcillosas, mezclas de grava, arena y arcilla.	Arriba de "A" I.P. mayor que 7
	ARENAS Más de la mitad de la fracción gruesa PASA por la malla N°4.	ARENAS LIMPIAS (poco o nada de partículas finas)	Amplia gama en los tamaños de las partículas y cantidades apreciables de tamaños intermedios	SW Gravas bien gradadas, mezclas de grava y arena con poco ó nada de finos	Coeficiente de uniformidad Cu : mayor de 6 Coeficiente de curvatura Cc : entre 1 y 3 $Cc = \frac{D_{60}/D_{10}}{(D_{30})^2/D_{10}^2}$	
			Predominio de un tamaño ó un tipo de tamaño, con ausencia de algunos intermedios.	SP Gravas mal gradadas, mezclas de grava y arena con poco ó nada de finos		No satisfacen todos los requisitos de gradación para SW.
		ARENAS CON FINOS (cantidad apreciable de partículas finas)	Fracción fino poco o nada plástica (para identificarla véase grupo MI)	SM d u	Gravas limosas, mezclas de grava, arena y arcilla.	Debajo de "A" I.P. menor que 4 Arriba de "A" y con I.P. entre 4 y 7 casos de frontera, uso de símbolos dobles.
			Fracción fina plástica (para identificarla véase grupo CL)	SC Gravas arcillosas, mezclas de grava, arena y arcilla.	Arriba de "A" I.P. mayor que 7	
FRACCIÓN QUE PASA POR LA MALLA N° 200 Menos del 5% : GW, GP, SW, SP. Más de 12% : GM, GC, SM, SC De 5% al 12% : Casos de frontera se requiere el uso de símbolos dobles.						

Nota: Son considerados suelos de granos gruesos aquellos en la que más del 50% de la muestra del material son retenidos por el tamiz N° 200. Selección de imagen de *Mecánica de Suelos* (p. 47), de Lambe, 2004, Limusa.

Figura 11: Partículas finas en suelos y su clasificación SUCS

DIVISIÓN	PROCEDIMIENTO DE IDENTIFICACIÓN EN EL CAMPO	SÍMBOLO	NOMBRES TÍPICOS	CRITERIO DE CLASIFICACIÓN EN LABORATORIO		
SUELO DE PARTICULAS FINAS Más de la mitad del material PASA en la malla número 200	PROCEDIMIENTO DE IDENTIFICACIÓN EN LA FRACCIÓN QUE PASA LA MALLA N° 40			G = gravas, M = limo, O = orgánicos, W = bien gradadas, S = arenas, C = arcilla, P = mal gradado, L = baja compresibilidad, H = alta compresibilidad. CARTA DE PLASTICIDAD 		
	LIMOS Y ARCILLAS LIMITE LIQUIDO menor de 50	RESISTENCIA EN ESTADO SECO (característica al empíjamiento)	MOVILIDAD DEL AGUA (reacción al agitado)		TENACIDAD (consistencia cerca del límite plástico)	
		Nula o ligera	Rápida alenta		Nula	ML Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos.
		Media a alta	Nula a muy lenta		media	CL Arcillas inorgánicas de baja a media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres.
	LIMOS Y ARCILLAS LIMITE LIQUIDO mayor de 50	Ligera a media	Lenta a nula		Ligera a media	MH Limos inorgánicos, limos micáceos o diatomeas, limos elásticos.
		Alta a muy alta	Nula a muy lenta		Alta	CH Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas francas.
		Media a alta	Nula a muy lenta		Ligera a media	OH Arcillas orgánicas de media o alta plasticidad, limos orgánicos de media plasticidad.
	SUELOS ALTAMENTE ORGÁNICOS	Fácilmente identificable por su color, olor, sensación esponjosa y, frecuentemente, por su textura fibrosa.			Pt Turbas y otros suelos altamente orgánicos.	

Nota: Son considerados suelos de granos finos aquellos en la que más del 50% de la muestra del material atraviesan el tamiz N° 200. Selección de imagen de *Mecánica de Suelos* (p. 47), de Lambe, 2004, Limusa.

2.3.1.6 Exploraciones de muestreo y subsuelo.

Los suelos son espacios heterogéneos que tienen más de una característica y propiedades que cambian en conformidad con la ubicación de la zona que se analiza o se supone que se analiza. Dichas propiedades poseen una variación mayor si se tiene en consideración la verticalidad en el curso de evaluación, conforme a la realidad del suceso que cada estrato se ajusta a perfiles que pueden contener conformaciones físicas, mecánicas o químicas exclusivas a una profundidad muy baja.

En este caso, es vital saber cómo responderá el suelo cuando se realicen actividades que modifiquen su composición originaria; con ese fin se utiliza un sistema que incluye la intervención, el análisis e identificación de las propiedades del suelo, llamado exploración del subsuelo, que, entre otras cosas, nos permiten:

- Determinar la capacidad de carga de una cimentación.
- Calcular los probables asentamientos de una estructura.
- Seleccionar la cimentación adecuada para una estructura en específico.
- Identificar la existencia del nivel freático.
- Determinar potenciales problemas de cimentación; tales como, rellenos sanitarios, suelos colapsables, suelos expansivos, además de otros.

Esta actividad podría ser muy vital, para la obtención de las propiedades y parámetros que determinan la composición de los suelos en la que se podrían construir las estructuras (Das, 1999).

2.3.1.6.1 *Calicatas o pozos y trincheras.*

Se trata de zanjas a diversas maneras que permiten observar de forma directa el terreno, además de captar las muestras y elaborar los ensayos en el mismo lugar en la no necesitan confinarse. Dentro de sus mayores beneficios está la probabilidad de hacer una observación al suelo en su estratificación para hacer suposiciones iniciales, asimismo se incluye la facilidad relativa y el coste menor de ejecutarla.

Dentro de las limitaciones de este método están la poca profundidad que se logra obtener (4 metros como máximo), la mínima fiabilidad de los valores si el agua existe, la intervención de los empleados de manera directa en la zanja, que podría notarse perjudicada por derrumbes desmoronamientos (González de Vallejo et al., 2002).

2.3.1.6.2 *Muestreos.*

La actividad del muestreo radica en recoger una porción de suelo que está siendo explorada ya sea después, durante o antes de esta actividad; en el factor de geotecnia es quizá la técnica superlativa porque a través de ella se logran reconocer, de forma de aproximación, las propiedades de un suelo que está siendo explorada. Las normas en su realización van en función de múltiples factores relacionados especialmente con el saber de ciertos parámetros geotécnicos de manera única para cada proyecto.

2.3.2 *Estabilización de suelos y modificación del terreno*

Tal como se mencionó anteriormente, en los suelos la estabilización se conceptualiza como una manera de mejorar en un suelo sus propiedades físicas ya sea

mediante un método mecánico e inserción de productos sintéticos, naturales o químicos. Esta estabilización mayormente es hecha en los suelos con subrasantes inadecuados y deficientes, en cuya situación se pueden llevar a cabo estrategias de mejora que se denominan estabilización, ya sea con suelo cemento, suelo cal, suelo asfalto y diferente variedad de productos. Además, es viable mejorar la subbase granular o base granular por medio de su estabilización, para lograr un material de mejores propiedades ya sean físicas o químicas, esto se atribuye base granular tratada o subbase (con cal o asfalto o cemento, y muchos otros.).

2.3.2.1 Estabilización mecánica de suelos.

Estabilizar mecánicamente los suelos busca dar mejora al material de un suelo sin modificar su composición básicas y estructura. Se usa la compactación como instrumento para alcanzar esta estabilización, por la que disminuye el volumen de vacío que hay en el interior del suelo.

2.3.2.1.1 La Compactación.

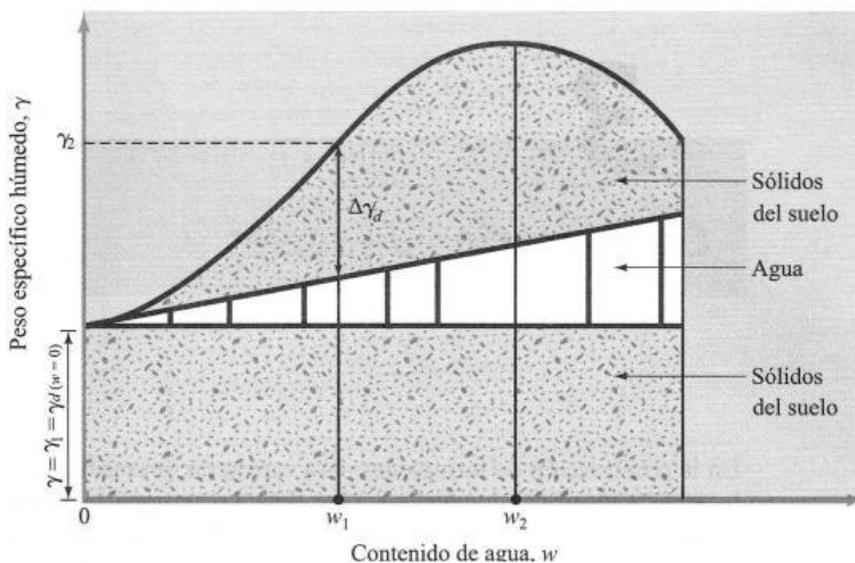
La compactación del suelo es un método mecánico que se realiza con el fin de aumentar la resistencia para obtener una capacidad de carga mayor de los cimientos contruidos encima de ellos. La forma de compactación generalizada consiste en añadir agua al material y por medio de las aplicaciones de cargas, se expulsa en la muestra el aire, lo que accede a una reordenación de las partículas, alcanzando en consecuencia la

densificación del suelo, dada en función de un incremento dentro del peso seco específico de un suelo (Das, 2001).

Inicialmente la gravedad o peso específico seco (γ_d) aumentará proporcionalmente al contenido de agua (w) dentro de la muestra, para un $w=0$ el peso específico seco es igual al peso específico húmedo ($\gamma=\gamma_d(w=0)=\gamma_1$). Conservando en la compactación la misma fuerza, el peso específico húmedo se representa mediante $\gamma=\gamma_2$, sin embargo el $\gamma_d(w=w_1)=\gamma_d(w=0)+\Delta\gamma_d$; esto para $w=w_1$. Cuando más allá de un $w=w_2$ el agua aumenta, el material empieza a mantener agua en sus espacios vacíos equivalentemente a la disminución de la gravedad específica seca. El contenido de agua para lograr el mayor γ_d se denomina contenido de agua óptima (Das, 1999).

Se muestra en la figura la curva típica de la compactación.

Figura 12: Compactación de suelos - principios



Nota. Selección de imagen de *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica* (p.52), de Das – 1999.

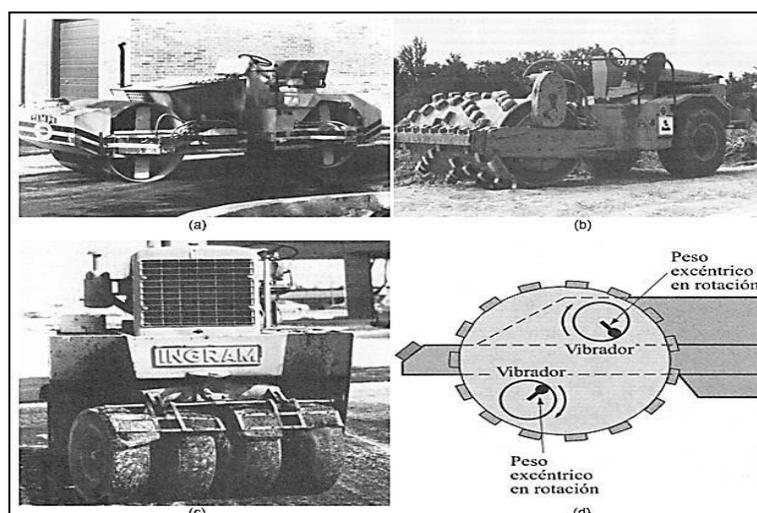
En los laboratorios el contenido de agua óptimo y el peso específico seco máximo se logra por medio del ensayo de Proctor modificada (ASTM D-1557) o el ensayo de Proctor estándar (ASTM D-698).

Tabla 13: Mejora de un suelo por compactaciones con diversos tipos de rodillos

Maquinaria	Presión de contacto (kN/m ²)	Aplicado a:	Consideraciones
Rodillo liso	≈ 300 – 400	Suelo arenosos o arcillosos	No producen un peso específico uniforme de compactación al usarlos en capas gruesas
Rodillos neumáticos	≈ 600 – 700	Suelos arenosos y arcillosos	Producen una combinación de presión y acción de amasamiento
Rodillo pata de cabra	≈ 1500 – 7500	Suelos cohesivos	En campo, las pasadas iniciales compactan la porción inferior de un lecho. Luego, son compactadas las partes intermedia y superior
Rodillos vibratorios		Suelos granulares	Los vibradores se unen a ruedas lisas, ruedas neumáticas de hule o rodillos con patas de cabra para vibrar el suelo en proceso de compactación.

Nota: Las compactaciones naturales de campo se llevan a cabo mediante rodillos de compactación. Generación de tabla partiendo de la sección 12.5 de *Principios de Ingeniería de Cimentaciones* (p.772-773), de Das, 2001.

Figura 13: Maquinaria en compactaciones de suelos



Nota. (a) Compactadores de rueda lisa; (b) compactadores de rodillo patas de cabra; (c) compactadores de neumático de hule; (d) principios de rodillos vibratorio. Selección de imagen partiendo de las figuras 3.14, 3.13, 3.12 y 3.11 de *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica* (p. 64-66), de Das, 1999.

2.3.2.2 Estabilizaciones combinando suelos.

Estas estabilizaciones mediante agregados del suelo consideran el agregado o la agregación de actuales materiales del suelo como material de préstamo.

El actual suelo podría ser roto o escarificado, a profundidades de quince centímetros (0.15 m) y a continuación se puede ubicar el tejido hipotecario o de aportación. Todo material de aportación y disperso podrían ser aireados o humedecidos hasta conseguir las humedades de compactación adecuada y previas eliminaciones de las partículas superiores a setenta y cinco milímetros (75 mm), si existiera. Después se combinará un agregado de cada suelo, se compactará y conformará de acuerdo con los requisitos de espesor y densidad hasta el nivel de la subrasante instalada dentro de la infraestructura.

2.3.2.3 Estabilizaciones por reemplazo de suelos.

Cuando la construcción de la subrasante avanzada se prevé más sencilla con materiales traídos, podrían darse dos casos, o bien que tenga que ser excavada anteriormente y sustituido por el material de adición o bien que la capa sea construida sin demora encima del suelo originario actual.

En el caso primario, la crianza con tejido absolutamente introducido significa la eliminación del suelo nativo actual en su totalidad, en consonancia con su espesor de sustitución.

En el segundo caso, el presente suelo debe ser escarificado, formado y compactado a densidad prevista para los terraplenes en sus cuerpos, hasta profundidades de quince centímetros (0.15 m). Una vez tomado en cuenta que el suelo de ayuda está preparado debidamente, se consentirá la ubicación de cada material, con espesores que aseguren el cumplimiento de densidad especificados y el grado de subrasante, la utilización de los equipos de compactación adecuadas. Estos materiales se hacen humedecer o airear, conforme a su vitalidad, para recoger las humedades del fondo de las compactaciones adecuadas, con el fin de su densificación.

Ya alcanzado el grado de excavación indicado, formado y compactado el suelo, los materiales podrán ser localizados y compactados en capas hasta alcanzar los niveles deseados.

2.3.2.4 Estabilización de suelos con cal.

El suelo-cal se adquiere mediante la combinación íntima de agua, cal y suelo. La cal que se usa es óxido de calcio (cal viva o cal anhidra), recibida por calcinar materiales calcáreos, o hidróxido de calcio (cal apagada o cal hidratada). Dichas cales se denominan asimismo aéreas debido a la propiedad que asumen a endurecerse dentro del aire, ya combinadas con el agua, a través del movimiento del dióxido de carbono.

Experimentalmente se puede indicar que los bienes de hidratar el cemento podrían reproducirse mediante la combinación o mayor número de aditivos de dicho producto tales como: Ca O, SiO₂, FC₂O₃ y Al₂O₃ en porciones precisas y dentro de la existencia de Agua.

Al combinar la cal con el suelo, se ocasiona un rápido intercambio iónico y una reacción de floculación, observada mediante otras de tipo puzolánicas muy lentas, con composición de nuevas sustancias químicas. La alúmina y la sílice del interior del suelo en sus partículas se integran con la cal en existencia de agua para generar aluminatos insolubles de calcio y silicatos.

Uno de los resultados más críticos de la cal dentro del suelo es modificar notablemente su plasticidad. Ejemplificando, los suelos con plasticidad $IP < 15$ incrementan tanto el LP como el LL, y a eso muy levemente su IP; mientras que en un suelo de plasticidad con $IP > 15$, merma el IP.

La humedad de compactación más deseable también incrementa, teniendo en cuenta densificaciones de suelos de alta humedad herbaria, a cualquier distinto caso ya no permitirían el desarrollo del recorrido deportivo en estos.

Un suelo máximamente adecuado de estabilización con cal es el que tiene poca plasticidad en su granulometría.

En terraplenes o incluso en cortes, en los que se evidencian un suelo arcilloso, es práctico dar mejora al suelo con un porcentaje minúsculo de cal para defender la nivelación y generar una zona para la construcción del camino deportivo.

La mezcla del suelo con cal la hace granulosa y más friable. Cuando crece la humedad de compactación y su restricción plástica permiten que se monte en la obra con más facilidad.

2.3.2.5 Suelo estabilizado con cemento.

El denominado material suelo-cemento se consigue mediante la combinación particular del suelo bastante dispersado con agua, cemento y diferentes adiciones fortuitas, acompañado de un adecuado curado y de una compactación. De este modo, el material libre se convertirá en un endurecido material, resistente demasiadamente. Distintamente del hormigón, pero, en los suelos los granos no se envuelven con pasta de cemento endurecido, mas bien, como alternativa, su unión es puntualmente. Así pues, el suelo-cemento poseen un módulo de elasticidad y una potencia menores a la del hormigón.

El material que contiene agua superior se establece mediante la prueba proctor como en compactación del suelo.

Las características de suelo-cemento dependen de:

- Tipo y cantidad de suelo, cemento y agua.
- Ejecución.
- Edad del agregado compactado y tipo de curado.

Los suelos más adecuados para estabilizar con cemento son los de tipo granular A- 1, A-2 y A-3, con finos de baja o media plasticidad ($LL < 40$, $IP < 18$).

La capacidad resistente del suelo-cemento aumentará con el contenido de cemento y la edad de la mezcla. Al incluir cemento a un suelo y antes de que empiece a fraguar, su LL cambia levemente, IP disminuye, y su humedad y densidad más beneficiosas crecen o merman levemente, dependiendo de la forma del suelo.

2.3.2.6 Suelo estabilizado con escoria.

Actualmente, la escoria de las acerías o de diferentes fundiciones en hornos se utilizan en muchos componentes de la arena, para fabricar cemento, además de agregados dentro del proceso de fábrica del hormigón, como subbase y tela de base en los pavimentos, dentro de las estabilizaciones en subsuelos, en la capa de asfalto que conforma porción del ligante bituminoso; se ha localizado en la agricultura adicionalmente el software, así como dentro del tratamiento de aguas residuales. Cuando el uso de este spinoff dentro de la creación de infraestructuras viales se limita la explotación de canteras nuevas, preservando el panorama en la región; al no requerir el procesamiento de los áridos, se disminuye los combustibles y el consumo de energía, y se disminuyen las transmisiones del CO₂ en el entorno.

En situación de insuficiencia de finos, se puede utilizar un agregado de escoria, cal y arena de alta calidad. Utilizar la cal será la única mencionada en el apartado 301.B Suelo estabilizado con Cal, del Manual de Carreteras: Especificaciones Técnicas Generales de Construcción, actual; pero, en esta situación no se permitirá usar cal viva ya que es capaz de ocasionar crecimiento dentro de los suelos.

En un suelo estabilizado con cal y escoria, el porcentaje previsto con la ayuda del pesaje de cal se sitúa entre el 1.5 y el 3%; y la de la escoria entre el 35% y el 45% en volumen.

El uso de cal con un tamaño más restringido al de la arena favorece el trabajo de protección sin que se pongan anticipadamente las cuchillas de corte de la motoniveladora o que se formen estrías en la calzada.

Además, la longitud de los áridos superior a 1 cm mientras se dispara por medio de la acción de los visitantes puede causar daños a los motores, además de los seres humanos.

2.3.2.7 Estabilizaciones con producto asfáltico.

La razón de mezclar suelos con productos asfálticos puede ser:

1. Una impermeabilización del suelo, produciendo poca sensibilidad a variaciones de humedad y, por ende, mayor resistente en situaciones de destrucción.
2. Un incremento en su equilibrio debido a cada característica de unión del aglutinante que rodea a los restos de los suelos.

La dosis requerida de aglutinante es específicamente una dependencia de lo granulométrico (lugar preciso de un suelo) del suelo. Un suelo más adecuado es el granular con limitados finos, de plasticidad disminuida, que producen mucho menos del 20% que atraviesa el tamiz N°2 cien, $IP < 10$ y $LL < 30$.

Las sustancias asfálticas generalmente utilizadas son el asfalto fluidificado de viscosidad media y la emulsión asfáltica. La combinación se realiza regularmente y la selección de los ligantes asfálticos dependerán de la granulometría de los suelos, de las condiciones meteorológicas y de su contenido de humedad del material. La granulometría podría ser cerrada sin finos o abierta con finos, pero la mejor superficie especial requerirá un aglutinante de rotura y curado más lenta, para lograr una combinación muy sencilla.

En zona con temperatura excesiva, es necesario utilizar productos adicionales de rotura y curado muy lentos, ellos pueden ser mayormente viscosos.

En la situación de estabilización con emulsión asfáltica, un emulsionante, que incluye agentes químicos utilizados como emulsionante y descrito como tensor energético o catiónico o tensioactivo aniónico, en un esfuerzo por determinar el tipo de emulsión como no iónica, catiónica o aniónica.

Existen emulsión de colocación gradual, media y rápida, en función de lo porcentual del cemento asfáltico utilizado. Las emulsiones asfálticas son dispersiones de asfaltos en agua con forma de pequeños restos con un diámetro de 3 y 9 micras

Esta clase de ligante podría utilizarse con casi cualquier tipo de material, aunque por economía se aboga por utilizarlo en suelos gruesos o en sustancias trituradas que no tengan un índice de plasticidad excesivo; también puede utilizarse con las arcillas, pero lo más eficaz es proporcionar impermeabilidades; Sumado a eso, para la situación de un suelo plástico, con otras mercancías se lleva a cabo la eficiencia adicional y económica.

2.3.2.8 Estabilizaciones con geosintético.

A comparación del suelo, el geosintético ofrecen resistencias a la tracción y un gigantesco mejoramiento en las construcciones de pavimentos y en el rendimiento global.

La revelación global que tenemos al momento del geosintético, relativa a comportamientos más cercano a su resistencia mecánica y a los distribuidores agresivos, permitieron diversificar útilmente el geosintético; Donde se tiene, que el anticontaminante y la función drenante es el sistema específico del geotextil; el funcionamiento particular de refuerzo de los pavimentos o refuerzo del terreno (o de la explanada), es en el contexto

de las geomallas; y, la característica de protección o impermeabilización está dentro de la disciplina de la geomembrana.

Las características de separaciones y filtrado del geotextil y la característica de refuerzos de la geomalla, podrían combinarse para suministrar estabilizaciones mecánicas del suelo inadecuados de la subrasante. La geomalla además puede utilizarse para separar o mejorar la capa base de los pavimentos flexibles debido a que accede a dar mejora la tasa de guía y, en consecuencia, mejorar los comportamientos estructurales de los pavimentos y el geotextil podría colocarse en la interfaz de base - subbase: (i) permitiendo drenar la sub-base, mientras hay pruebas de terrible drenaje, como por ejemplo, debido al uso de una base cerrada o densa; y/o (ii) permitiendo el drenaje apresurado de la base en su camino.

Las óptimas consideraciones condicionadas en el empleo de geosintético, en las construcciones de carretera son:

1. Baja resistencia al corte y sin drenaje

- CBR <3 (CBR se determina conforme la norma ASTM D 4429, muestra saturada)
- $T_f = C_u < 2,000$ libras por pie cuadrado (90 kPa)
- MR ~ <4500 psi (30 MPa) (Se determina conforme la norma AASHTO T 274)
- R-valor ~ <20 (Se determina conforme la norma AASHTO T 190)

2. Clasificación de suelos según:

- Clasificación AASHTO: A-6, A-5, A-7-6 y A-7-5

- Clasificación SUCS: SC, CL, CH, ML, MH, OL, OH y PT

3. Sensibilidad alta ($S > 8$, como respuesta de la relación entre la resistencia a la compresión no confinada en estado remoldeado y la resistencia a la compresión no confinada en estado inalterado, de muestras de suelos cohesivos, se determina conforme el ensayo MTC E 121).

4. Nivel freático alto.

Ante situaciones, el geosintético podría tener función como separador para eludir el contagio o la mezcla del agregado del afirmado, la base o subbase de la avenida y la subrasante del suelo; las migraciones de finos se localiza incluso un suelo con CBR del 8%. También es importante la filtración, debido a que los suelos por debajo de un CBR de 3%, son generalmente saturados y húmedos.

En este marco, el agua presente podría drenarse mediante el geosintético sin producir un traslado estable. Además, el geosintético en su característica de refuerzo accederá, mediante los años, disipar los esfuerzos y descuento de tensiones dentro de la subbase y la mejora de las capacidades de cargas.

2.3.3 Relleno fluido suelo-cemento

Tal como indica su nombre, el relleno fluido suelo-cemento es compuesto material de cemento, tierra y considerables cantidades de agua. Debido a sus propiedades normales, incluyendo la autocompactación y la fluidez, también se podría utilizar para resolver distintos inconvenientes asociados con cada obra civil; ejemplificando, en el llenado de tuberías, relleno de terraplenes, fundaciones para viviendas, entre diferentes programas.

Debido a sus caracteres, este paño concierne, de acuerdo con el Instituto Americano del Hormigón (ACI), al grupo propio de los Materiales de Baja Resistencia Controlada, estando regulada su utilización mediante la conformación del comité ACI 299R-9. Tal como se ha mencionado en este trabajo investigativo, el material tratado se denomina relleno fluido suelo-cemento (RFSC); a pesar de ello, se utilizará también la nomenclatura de relleno fluido de resistencia controlada, posteriormente RFRC, porque el código ACI 229R difunde esta designación para abarcar a todo tipo de material para rellenos fluidos.

En el apartado 3.2.3 se logró entender mejor las características y materiales del relleno fluido de resistencia controlada, dentro de los párrafos siguientes se extiende la estadística analizando los diferentes ámbitos de estudio de dicho elemento en varios ámbitos en la ingeniería civil; asimismo, se definen ciertas características adicionales.

2.3.3.1 Rellenos secundarios.

Un relleno secundario o simple se utilizan en excavaciones pequeñas, agujeros, zanjas, revestimientos de conductos, estribos de puentes, mantenimiento de muros o diferentes sitios en la que se utiliza las compactaciones hechas a mano.

Generalmente se dispone de limitados espacios para realizar esos trabajos, lo que proscribire la utilización de equipos de relleno tradicional compactado. Es ahí en la que el relleno fluido de resistencia controlada se vislumbra como un material útil para realizar dicho interés, su propiedad de ser autocompactante y autonivelante hace viable adquirir

uniformidad del relleno y una densidad que no se completaría con el método tradicional incluso cuando estos se conformen con el espesor de capa deseado (ACI 299R, 1984).

2.3.3.2 Rellenos estructurales.

Un relleno estructural establece un mejoramiento del suelo, en la que un suelo con caracteres geotécnicas negativas es sustituido o reemplazado por otras sustancias escalonadas que pueden ser rellenos normalmente compactados.

El relleno fluido de resistencia controlada es un elemento que podría utilizarse para sustituir suelos excepcionales en mal estado; ya que, dependiendo de la dosificación relacionada con los objetivos del proyecto, se puede adquirir una resistencia a la compresión que varía de 7 a 83 kg/cm². Dichos números de resistencia podrían inclusive disminuir y estar en torno a 3,5 kg/cm²; incluso así, estas situaciones son suficientes en algunas iniciativas que no requieran demasiadas resistencias, ya que este coste es similar a los alcanzados en el desarrollo de un suelo con relleno compactado convencional.

2.3.3.3 Base de Pavimento.

El relleno fluido de resistencia controlada se podría aplicar en la formación de las capas de subbase y base de obras viales, tal como se verá en el desarrollo de la presente tesis; ya que por sus características es posible mejorar desniveles que se forman debido a los movimientos de tierra. De igual modo que los rellenos compactados comunes, el relleno fluido de resistencia controlada requiere también buenos canales, cloacas de agua pluvial, drenajes y la adecuada pendiente de los pavimentos en sus construcciones. Ya que

el descongelamiento y congelamiento daría como resultado una escasa durabilidad al elemento de la base si este se congelase al llenarse el agua.

2.3.3.4 Lechos de apoyos (camas) para canales.

Por las particularidades de las obras de canales el relleno fluido de resistencia controlada es un elemento pragmático puesto que su rápido movimiento otorga ocupar por completo las zonas bajas del canal y dotar de un espacio de apoyo adaptativo a su cambio de dirección y a su forma, además de resistente.

2.3.3.5 Control de erosiones.

Diversos ensayos de campo y de laboratorio han verificado la eficacia del relleno fluido de resistencia controlada cuando se utiliza en el manejo de la erosión, que se provoca porque el material declarado resiste suficientemente la oxidación mientras se relaciona con diferentes rellenos. Ejemplificando, las combinaciones del relleno fluido de resistencia controlada con arena cuando se descubren al agua poseen una rapidez de 0.52 m/s, se convierten en mejores que las otras sustancias, ya que la porción mermada de material y de sólidos en suspensión del material era mínima.

El relleno fluido de resistencia controlada se utiliza para proteger un terraplen, pilotes bajo derrames de diques, así ayudar a soportar restos de piedra de la zona, y para hacer frente a la corrosión; también se utiliza para rellenar el material doblado en el que se coloca el lecho a lo extenso del terraplén para la protegerla contra la oxidación, la fuerza proporciona el peso. Aparte de suministrar resistencia a la oxidación debajo de la

alcantarilla, el relleno fluido de resistencia controlada es apropiado en el relleno debajo de los pavimentos de las aceras en un puente y diversas estructuras en las que los suelos granulares o cohesivos de los rellenos se han oxidado en el transcurso.

Sabiendo los usos del relleno fluido de resistencia controlada podríamos deducir que dicho material ha sido diseñado para reemplazar el procedimiento de producción de un relleno mediante la compactación de suelos elegidos.

2.3.3.6 Característica complementaria.

Las características de este elemento lo hacen especialmente flexible para su utilidad, específicamente al tratar de rellenar espacios confinados en la que la ubicación de maquinarias o equipos simplemente no es posible; en consecuencia, el código ACI 299R resalta las ventajas importantes al utilizar el relleno fluido, estas son:

- Disponibilidad,
- Facilidad de entrega,
- Facilidad de instalación,
- Versatilidad,
- Resistencia y robustez,
- Permite una corta puesta en marcha al tráfico,
- No presenta ahora asentamientos,

- Reduce los precios de las excavaciones,
- Mejora la seguridad de los empleados,
- Permite la producción en cualquier clima,
- Puede ser excavado,
- Requiere mucha menos supervisión,
- Reduce la necesidad de artilugios,
- No requiere garaje,
- Utiliza un material producido a través de la combustión del carbón.

2.4 Fundamentos epistemológicos o filosóficos o antropológicos

Es tradicional que, dentro de la fase de diseño de los elementos estructurales de una obra vial, se utilicen procesos estandarizados y normados que accedan a estar seguros de lo que se está logrando. El diseño de las bases no siempre es ajeno a esta situación, ya que el experto intenta perseguir una "receta" que le acceda conseguir respuestas estructurales a la vez que se cumplen las necesidades económicas y técnicas. En los casos de mayoría este tipo de situación se cumple y en el trayecto se abandona otras alternativas por no entender bien su naturaleza.

En el problema específico de la mejora de los suelos de bajas capacidades portantes que llevan al desarrollo de obras viales, es habitual aplicar el relleno compactado convencional, pronunciando generalmente "El máximo espesor de compactación puede ser de 0.3 m. La densidad de compactación podrá ser mayor o igual al 90% de la densidad

recibida en el ensayo Proctor Modificado...". No existe incertidumbre de que a través de este proceso se cumplen las mínimas características geotécnicas; sin embargo, debemos ser conscientes, además, de que la gestión más controlada y la ejecución responsable asegurarán la adecuación del método en algún momento de la existencia beneficiosa de la obra vial.

Pues bien, en la realidad nuestra y reflejando el hecho de que gran parte de las tácticas de desarrollo se ejecutan con un pseudo manipulador, es muy común observar que los establecidos parámetros para el desenvolvimiento de cada trabajo de compactación regularmente no se cumplen, puesto que la técnica es muy dificultosa y compleja tanto su control como su ejecución; si a esto le añadimos las características climáticas incluyendo la lluvia, el interés se vuelve aún más complicado, debido a que se deben llevar a cabo ciclos de eliminación y compactación de material hasta lograr la requerida densidad.

Ante este escenario, se propone investigar la factibilidad de utilizar el RFSC para mejora de los suelos malos para obras viales, considerando que este material tiene propiedades junto con la autonivelación, autocompactación, autonivelación y densidad controlada por lo que se puede permitir obtener suelos mejorados con situaciones iguales o avanzadas de un relleno compactado convencional.

CAPÍTULO III.

MARCO METODOLÓGICO

3.1 Ámbito

Este trabajo investigativo es realizado con el objetivo de analizar la factibilidad del uso del RFSC como elemento para mejorar las características de suelos de capacidad portante baja en obras viales; por ello, este estudio comprende a cada una de las obras viales en el ámbito regional y nacional en los que sea necesaria dicho método para dar mejora a sus propiedades.

3.2 Tipo y nivel de investigación

3.2.1 Tipo

El tipo de investigación será categorizada conforme a (Hernandez R, 2014, pag. 89), tal como se detalla a continuación:

En función al Enfoque se clasifica en el **tipo Cuantitativo**, debido a que se trabajarán los cálculos estadísticos. Asimismo, se cuantificarán los datos de las variables. Existe una realidad que conocer.

En función a la Experimentación se clasifica en **No Experimental**, puesto que únicamente se realizarán procedimientos estadísticos, ósea que no se usará ninguna variable por medio de experimentos.

De acuerdo al Tiempo de Toma de Datos se clasifica en **Longitudinal**, puesto que el estudio, análisis y recojo de datos se harán en diferentes tiempos, como el registro de características del tipo de suelo, datos del RFRC, entre otros.

3.2.2 Nivel

La tesis en estudio está comprendida en un nivel de investigación Descriptivo.

El nivel de la investigación es del tipo Descriptivo; ya que comprende la descripción, identificación, caracterización y procesamiento de datos de las características de los materiales usados en la obra de referencia y las que se emplean en el material RFRC.

3.3 Población y muestra

3.3.1 Descripción de la población

La población estudiada se comprende por cada una de las obras viales de índole público o privado, sobre los cuales es necesario mejorar las características de la base del suelo y que a su vez es adecuado la aplicación del RFSC como solución frente a otros métodos de relleno compactado que suele usarse en su mayoría.

3.3.2 Muestra y método de muestreo

La muestra abarca al estudio en las características del suelo en la obra: “MEJORAMIENTO DEL SERVICIO VIAL Y URBANO EN LA PROLONGACION LOS GIRASOLES Y LA AV. LOS GIRASOLES, DEL DISTRITO DE AMARILIS – PROVINCIA DE HUÁNUCO – DEPARTAMENTO DE HUÁNUCO”.

En la obra en mención fue necesario mejorar el suelo encontrado, por tener suelos de características expansivas, por tal motivo se propuso el uso de relleno compactado para mejorar las características de la misma; no obstante, esta propuesta no fue quizás la más conveniente, debido a los sobrecostos y tiempo empleados que superaron en cierta medida los plazos que se tenían programado.

Debido a esta razón, se aborda en realizar la comparación de las características geotecnicas empleando RFSC en lugar del uso de relleno tradicional.

3.3.3 Criterios de exclusión e inclusión

Exclusión:

- Parámetros del diseño de mezcla del concreto a utilizarse en la obra.

Inclusión:

- Parámetros fundamentales del tipo de suelo en la obra, entre los que destacan; Análisis Granulométrico, Límites de Atterberg, CBR, Humedad Relativa.
- Parámetros fundamentales del material RFRC, entre los que destacan; Capacidad Portante, Densidad, Modulo de Rotura, Modulo de Elasticidad.

3.4 Diseño de investigación

Teniendo en cuenta las variables y el punto de interés de la situación, la investigación se desarrolló principalmente a causa de un principio fundamentado, que

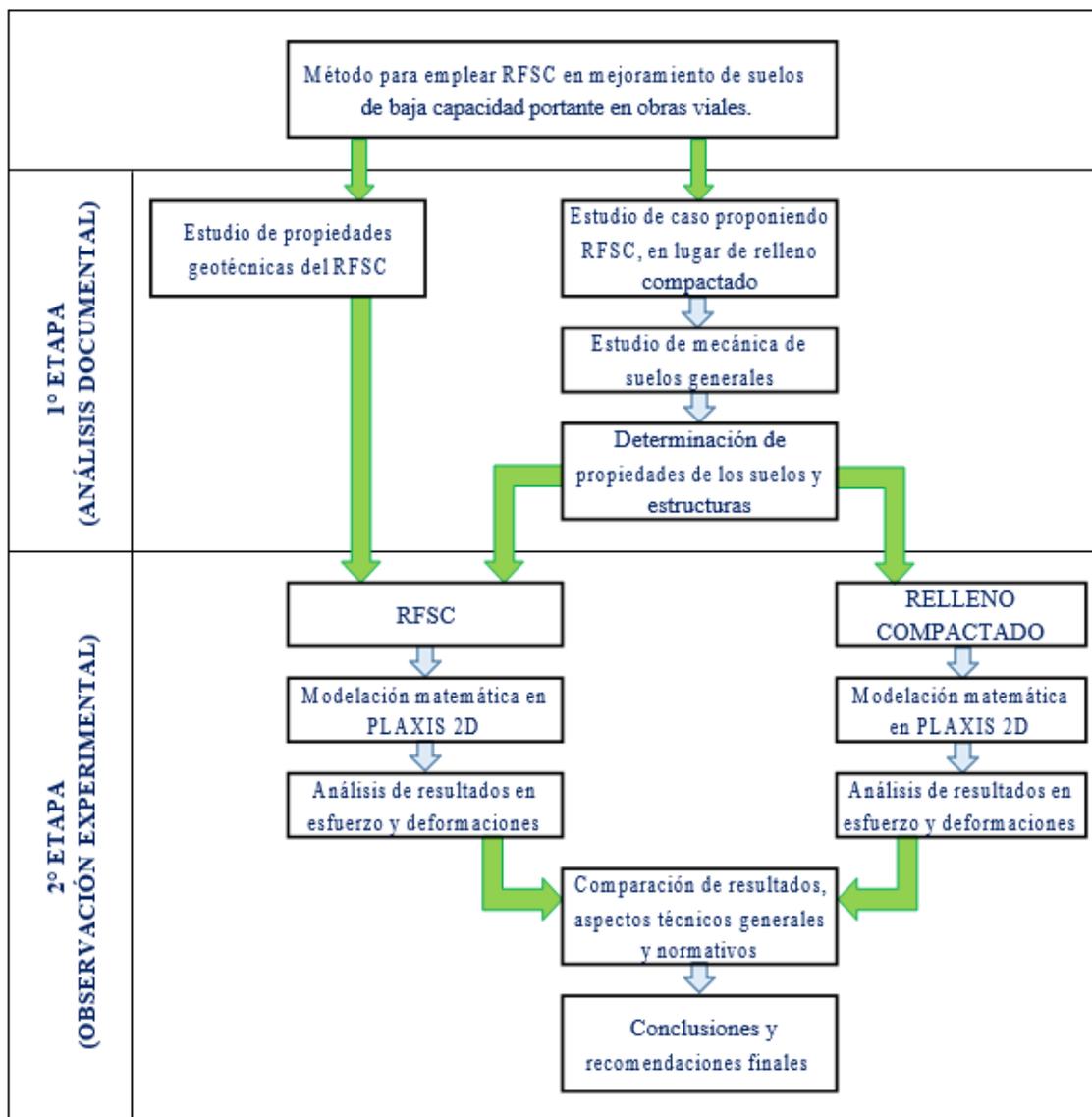
permite conocer la factibilidad del relleno fluido suelo-cemento como material de desarrollo en un suelo con disminuida capacidad portante en obras viales.

En el primer punto, se estudian todas las características geotécnicas del relleno fluido suelo-cemento, estas pueden ser apoyadas por medio de reglas y actividades de investigación que sirven como guías para analizar estos parámetros.

Posteriormente, tomando de ejemplo un caso concreto en estudio de la obra en mención, se lleva a cabo el contraste técnico y normativo del uso del RFSC frente al relleno compactado convencional, lo que permite determinar la metodología para decidir la factibilidad del uso del relleno fluido suelo-cemento. Dicha etapa consta de una cadena de etapas que contienen directrices y estrategias que implican la evaluación de las propiedades del suelo, la modelización matemática y la evaluación normativa y técnica de dichas propuestas.

Se esquematiza el diseño de investigación a través de la figura mostrada:

Figura 14: *Diseño de la investigación*



Nota. Elaboración propia.

3.5 Técnicas e instrumentos

3.5.1 Técnicas

En la fase inicial de este estudio se empleó la técnica de análisis documental, gracias al cual fue posible el entendimiento de las características geotécnicas del relleno

fluido suelo-cemento y el relleno compactado; de la misma manera, para el empleo de fórmulas y valores planteados, se obtuvieron resultados fundamentales para los dos materiales, entre los cuales se destacan el ángulo de dilatación, módulo de elasticidad, coeficiente de poisson y peso específico. Dichos resultados se trabajaron por medio del instrumento de fichas para la recolección de valores esquematizados mediante cuadros y tablas

Para la fase posterior del estudio se empleó la técnica de observación experimental, cuya materialización se realizó mediante modelos matemáticos a través del software PLAXIS 2D, quien ayudo en la obtención de los resultados de esfuerzos y deformaciones en los dos casos en estudio bajo reglas que fueron regidas por las características obtenidas en la fase inicial. Los resultados que se obtuvieron fueron trabajados por medio del instrumento de registro de datos, el cual ayudo en la esquematización de cuadros y tablas de comparación que permitiesen evaluar la factibilidad del uso de RFSC en la mejora de características de suelos con capacidad portante reducida en obras viales

3.5.2 Instrumentos

3.5.2.1 Validación de los instrumentos para la recolección de datos.

En esta presente tesis, dada las características de los instrumentos utilizados no se vio la necesidad de realizar la validación, puesto que se utilizaron como instrumento los valores que ya se tenían del expediente técnico de la obra los cuales fueron realizado en función a los cuadros estandarizados por el MTC donde el recojo de datos se realiza de

forma precisa según ensayos ya normalizados para obtener dichos valores relevantes para la comparación de las dos metodologías de relleno en estudio.

3.5.2.2 Confiabilidad de los instrumentos para la recolección de datos.

De igual modo, según las características de los instrumentos utilizados tampoco se vio la necesidad de realizar la confiabilidad, puesto que se utilizaron como instrumento los valores que ya se tenían del expediente técnico de la obra los cuales fueron realizados en función a los cuadros estandarizados por el MTC donde el recojo de datos se realiza de forma precisa según ensayos ya normalizados para obtener dichos valores relevantes para la comparación de las dos metodologías de relleno en estudio.

3.6 Técnicas para el procesamiento y análisis de datos

En función al método de investigación planteado para el desarrollo de la presente tesis, el procesamiento y análisis de datos se realizó de la siguiente manera;

Se empezó con la recopilación de toda la documentación técnica necesaria que pudiera ser obtenida de la obra, entre los cuales se incidió en la obtención de los resultados de ensayos referentes a las propiedades del suelo encontrado en el proyecto.

Así mismo se hizo un reconocimiento in situ en el área de influencia del proyecto, el cual se extiende desde el frontis del coliseo 15 de agosto de Huánuco hasta el puente Huallaga ubicado en la zona de ingreso al distrito de Pillco Marca; para que, mediante inspección visual se pueda corroborar los datos obtenidos del expediente técnico de la obra.

Mientras que para el análisis de datos del RFSC, fue necesaria la investigación de diversas fuentes bibliográficas y trabajos afines las cuales nos ayudarían a obtener los diversos parámetros geotécnicos más relevantes de este material, estos se describen de manera breve y práctica a continuación.

3.6.1 Propiedades geotécnicas del Relleno Fluido Suelo-Cemento

El Relleno Fluido Suelo-Cemento es un material que tiene varios ámbitos de aplicación, debido a esto la dosificación y sus características van en una amplia gama de valores. En forma estándar, esas propiedades pueden ser estudiadas desde dos puntos de vista asociados a las condiciones del elemento; Así, el RFSC se comportará en su condición fresca, destacando sus características plásticas en esta etapa. Cuando el agregado ya ha cuajado, la conducta del elemento es excepcional y sus características en el estado endurecido pasan a ser más cruciales.

Tomando importancia al lenguaje especializado, cada parámetro geotécnico que hace del relleno fluido suelo-cemento una opción para la mejora de un suelo con disminuida capacidad portante en las obras viales son:

3.6.1.1 Características en estado fresco.

Desde luego, las propiedades que presenta el relleno fluido de resistencia controlada ante el relleno compactado convencional es su cualidad de ser autocompactante y autonivelante, así como el potencial para rellenar huecos y fluir, lo que pone de manifiesto las condiciones de este elemento en este fresco.

Por lo tanto, es conveniente observar cada propiedad de dicho elemento en su estado fresco para tener un mejor entendimiento de su alcance a la hora de plantear su uso.

3.6.1.1.1 *La Fluides.*

La fluides definitivamente es alguna de las características más importantes del relleno fluido de resistencia controlada, gracias a dicha propiedad es posible que la combinación tenga fluidez y que de esta forma sea capaz de nivelarse y compactarse por sí misma sin necesidad de utilizar equipos mecánicos tal es el caso del relleno. Dependiendo de los requerimientos, la consistencia del relleno fluido de resistencia controlada podría cambiar de una situación plástica a una fluida, no obstante, se recomienda que los asentamientos tengan valores de 0.15 y 0.20 m medidos con métodos tradicionales dentro del cono de Abrams (ASTM C143) (Santaella & Salamanca, 2002). Cabe indicar que, de acuerdo con el código ACI 299R, la fluidez podría cuantificarse por medio de varias estrategias estandarizadas que incluyen comprobación de la consistencia del flujo (ASTM D6103), alternativamente es posible emplear el cono de flujo (ASTM C939).

Basándose en las evaluaciones con el cono de Abrams (ASTM C143), el código ACI 299R decreta los siguientes niveles para agrupar de manera arbitraria que tan fluida pueda ser una mezcla, mientras el asentamiento previsto es menor de 20 cm.

- Fluides baja: menos de 15 cm,
- Fluides normal: entre 15 y 20 cm,
- Fluides alta: más de 20 cm.

En las dosificaciones sobre las que el asentamiento previsto es mayor a 20 cm, hay que utilizar el método del cono de flujo (ASTM C393) y así hallar la fluidez, esta comprobación debería realizarse durante una duración de 30 ± 5 segundos. (Santaella & Salamanca, 2002).

3.6.1.1.2 *La Segregación.*

En la dosificación que contenga excesiva cantidad de agua, el extra de fluidez conlleva la disociación de cada material que compone la mezcla; este fenómeno se denomina segregación y se comporta de forma semejante a la excesiva depresión en las combinaciones del hormigón reforzado.

Para eludir cada problema de segregación, el código ACI 299R sugiere una dosificación que abarquen grados de cohesión adecuados; ejemplificando, emplear cenizas volantes o limo hasta el 20% de la totalidad de estos agregados cumple estos requisitos. No obstante, emplear agregados plásticos, llámese arcillas, conllevará en la obtención de resultados deficientes porque dicha combinación sufre expansiones y contracciones

3.6.1.1.3 *La Contracción.*

Las contracciones son fenómenos por la cual la mezcla, una vez instalada, varía volumétricamente a causa de la falta de agua por factores extrínsecos que incluyen el movimiento del viento o la temperatura. El agua filtrada es retenida por el suelo contiguo o liberada a la superficie en el periodo de fraguado. En las mezclas con cantidades de agua

excesivas, los parámetros comunes de contracción se encuentran en el rango de 3,1 y 6,35 mm por cada 30 cm de profundidad (Santaella & Salamanca, 2002). Caso opuesto, las combinaciones con contenido bajo de agua carecen del fenómeno de contracción, dicha hipótesis es fundamentada una vez que los cilindros fabricados en el cálculo de la resistencia a la compresión no experimentan modificaciones en su parte superior desde que pueden ser rellenados hasta el momento de cada comprobación (ACI 299R, 1984).

3.6.1.1.4 El Tiempo de fraguado.

Los tiempos de fraguado son el intervalo de tiempo requerido para lograr que el RFRC vaya de la condición fluida a endurecida teniendo la adecuada presión para que una persona pueda estar de pie sobre el suelo formado sin causarle daños visibles. Esta variable se ve inducido a través de causas que incluyen la cantidad de sangrado y de agua absuelta; de igual forma, el tipo y la cantidad de cemento tienen implicancia directa sobre el periodo de fraguado (ACI 299R, 1984). Dicha norma informa que las condiciones regulares que alteran los tiempos de fraguado son:

- La profundidad del relleno,
- La humedad ambiental,
- La combinación y la conexión con las temperaturas ambientales,
- La cantidad de RFRC,
- La humedad relativa del RFRC,
- El grado de saturación y la permeabilidad del suelo adyacente en el RFRC y
- La proporción y el tipo del elemento cementicio,

En situaciones regulares, los tiempos de fraguado se encuentra dentro del intervalo de 3 a 5 horas, contemplando las visitas de obra confinadas de la gente y algunas máquinas; y para realizar las visitas de obra diarias o las labores de construcción el periodo esencial puede ser de 24 a 36 horas. A fin de corroborar los endurecimientos, se podría utilizar la comprobación de las penetraciones de acuerdo a la norma ASTM C403, la cual nos brinda el grado de aguante del RFRC, siendo alguna de las penetraciones de 500 y 1500 la recomendada (Santaella & Salamanca, 2002).

3.6.1.2 Características en condición endurecida (servicio).

3.6.1.2.1 *Capacidad portante.*

El código ACI 299R da a conocer que la capacidad de soporte que posee el RFRC es una magnitud de su cualidad para transmitir de la carga, dicho valor a menudo está en el intervalo de 3 a 7 Kg/cm²; dicho valor bastante parecido a las propiedades de un suelo cuya compactación es buena encontrándose su capacidad de soporte en el rango de 6 a 8 Kg/cm².

3.6.1.2.2 *La Densidad.*

Una densidad viene a ser la cantidad numérica relacionada a la proporción de masa sobre un volumen dado respecto un elemento. El RFRC, en condición húmeda, proporciona valores los cuales varían entre 1840 y 2320 kg/m³, dicho valor resulta mayor al extraído en los rellenos compactados convencionales; no obstante, al finalizar el método

de fraguado, la densidad disminuye considerablemente producto de la disminución de agua (ACI 299R, 1984).

Hay unas dosificaciones con las cuales es posible utilizar a fin de disminuir la densidad ya sea en condición seco y húmedo; es decir, la combinación del relleno fluido de resistencia controlada con cenizas volantes, agua y cemento pueden alcanzar densidades que oscila desde 1.440 a 1.600 kg/m³. De la misma forma, al emplear ligeros agregados o por la inserción del aire entre 15 al 30% dan como resultado una densidad en estado húmedo que va desde los 1.550 a 1.950 kg/m³ (Santaella & Salamanca, 2002).

3.6.1.2.3 *Los Asentamientos.*

A menudo el relleno consolidado convencional tiende a asentarse, incluso habiéndose cumplido lo necesario para su compactación; opuesto a este, el RFRC, una vez fraguado, ya no tiende a asentarse. (ACI 299R, 1984).

3.6.1.2.4 *La Permeabilidad.*

De manera similar con los rellenos consolidados convencionales, las permeabilidades del relleno fluido de resistencia controlada tienen datos que varían dentro del rango desde 10^{-4} a 10^{-5} cm/s y de las combinaciones con valores altos de volumen de dosificación y resistencia muestran permeabilidad con bajo nivel que pueden llegar hasta 10^{-7} ; con esto es posible deducir que, a menor porción de cemento y mayor porción de agregados, la permeabilidad corresponde a ser mayor. Sin embargo, al emplear elementos los cuales están conformados de arcilla, es posible disminuir la permeabilidad, aunque es

probable que otras características se vean afectadas; por tal razón es de vital importancia la elaboración de ensayos previos a usar elementos no muy comunes (ACI 299R,1984).

3.6.1.2.5 *La Contracción.*

El fenómeno de las contracciones está referido con la variación volumétrica de un elemento a causa de la disminución de humedad del mismo; para el caso del RFRC diversas bibliografías dan a conocer que dicho fenómeno se da en minutos teniendo como resultado la contracción final lineal dentro del rango entre 0.02 a 0.005% en la cual es posible inferir que no tiene repercusión en el actuar del relleno fluido de resistencia controlada (ACI 299R,1984).

3.6.1.2.6 *El Módulo de rotura.*

Los módulos de rotura ayudan a encontrar las resistencias a la flexión del material; según Santaella & Salamanca (2002), “en el caso de la resistencia a la flexión del relleno fluido, se ha encontrado que los valores pueden variar entre 10 a 20% de su resistencia a la compresión”; asimismo conforme estos autores la cantidad numérica del módulo de rotura se obtiene aplicando la fórmula que se muestra a continuación:

$$M_r=0.14f'_c$$

Siendo:

f'_c : La resistencia a la compresión del RFSC (Kg/cm²).

3.6.1.2.7 *Módulo de elasticidad.*

De forma puntual el valor de este relleno aún se desconoce con certeza; no obstante, según Gonzales en la cita dada por Santaella & Salamanca (2002), “los valores para del módulo dinámico para sub-bases y bases en un relleno fluido se determinan conforme a la norma ASTM C469, pero debido a la complejidad del equipo pocas veces se realiza” ante ello se suele dar uso en mayor medida a las correlaciones relacionadas a la tracción y a la resistencia de la compresión la cual es posible calcular de la siguiente manera:

$$E=10235\sqrt{f'c}$$

Siendo:

$f'c$: La Resistencia a la compresión del RFSC (Kg/cm²).

3.6.2 *Análisis comparativo para evaluar la viabilidad del uso de RFSC como material de mejoramiento en reemplazo del material de relleno.*

Entre las principales metas de la presente investigación está la de encontrar los pasos y lineamientos a fin de realizar un estudio que tenga en cuenta que tan viable técnicamente resulta usar RFSC para la mejora de las características de los suelos en obras viales, para lograr dicha condición es necesaria la inclusión de una propuesta, a fin de evaluar las principales diferencias, beneficios y viabilidad del empleo de RFSC. Para la tesis realizada, dicho material es el material de relleno empleado en la obra de aplicación, la cual estará regida a los datos encontrados de los ensayos de laboratorio para determinar sus características granulométricas y demás parámetros de suelo.

Los pasos y metodología a seguir para el desarrollo del modelo se explica de manera detallada a continuación, la cual en resumen sigue la secuencia típica de la mayoría de modelos matemáticos, es decir, un método en el que cada paso está vinculado al otro,

es decir, se inicia generando la geometría o el modelo matemático en PLAXIS 2D, luego se asignan las cargas, se genera la malla de elementos finitos, se da las condiciones de inicio (a través del subprograma input); después se realiza los cálculos respectivos, los cuales son analizados por medio de esquemas gráficos, tablas y modelos de esfuerzo y deformación.

3.6.2.1 Estudio de mecánica de suelos (EMS)

El EMS es un proceso ordenado con el cual es posible encontrar las características físicas y mecánicas de un suelo a través de diferentes métodos de exploración y ensayos de laboratorio, muchos de estos parámetros encontrados son fundamentales a la hora realizar el diseño de cimentaciones o lo que nos importaría en la presente investigación, elegir el tipo de pavimento y las mejoras al suelo que servirá de base para el paquete estructural.

Para la obtención de los parámetros del tipo de suelo encontrado o emplear como material de rellenos será necesario el uso de diversas fuentes, de la que destaca principalmente el Manual de Carreteras Suelos Geología, Geotecnia y Pavimentos – Sección Suelos y Pavimentos (RDN N° 10 – 214 – MTC/14).

Así pues, de los datos encontrados en el expediente técnico de la obra de aplicación se muestran a continuación, los cuales nos servirán para la esquematización del pavimento en el programa PLAXIS 2D; de la misma forma para la obtención de datos de las características del RFSC se toma de referencia los datos obtenidos en trabajos ya desarrollados.

Figura 15: Propiedades de la subrasante obtenido del expediente técnico contractual

6. La sub-rasante estará constituida por grava, de plasticidad baja, medianamente compacta, ligeramente húmeda, color marrón claro [A-4] la que se clasifica desde el punto de vista de pavimentos como regular a insuficiente em todo el tramo. Este material deberá ser escarificado hasta una profundidad de 0.20 m por debajo del nivel de la subrasante y compactado hasta lograr el 95% de la máxima densidad seca obtenida mediante el ensayo Proctor Modificado, y mejorar el suelo mediante uso de material over.
7. Se recomienda diseñar el pavimento con el valor del C.B.R. de la subrasante relativamente más bajo, de los ensayos realizados en la vía C.B.R. del material encontrado es superior a 7.92, a una densidad equivalente al 95% de la densidad máxima del Proctor Modificado.

Nº DE CALICATA	PROF. DE CALICATA (m)	CLASIFICACION		M.D.S. (gr/cm3)	OCH (%)	CBR AL 95% DEL MDS
		S.U.C.S.	AASHTO			
02	1.5	GM	A-4	2.011	5.49	15.40
04	1.5	ML	A-4	1.867	12.80	7.92

8. Para la subbase se recomienda usar la cantera San Andres, cuyas características físicas y mecánicas se presentan en el anexo "Estudio de Canteras", donde data que el valor del

Informe de Mecánica de Suelos para el Proyecto: "Creacion de Pistas y Veredas de la Av. Girasoles del Distrito de Amarilis - Provincia de Huánuco - Departamento de Huánuco"



Nota: Imagen tomada del expediente técnico contractual de la obra

Figura 16: Propiedades de la subrasante obtenido del expediente técnico contractual

Tipo de Suelo	Modelo del material	E (KN/m ²)	v poisson	PE seco (KN/m ³)	PE saturado (KN/m ³)	Cohesión (KN/m ²)	Angulo de friccion (°)	Angulo de dilatación (°)
Grava limosa	Mohr Coulomb	723380	0.3	16	18.59	15	10	5

Nota: Datos obtenidos con ayuda del expediente técnico contractual de la obra

Figura 17: Propiedades del material de relleno para base obtenido del expediente técnico contractual

OBRA : "Creacion de Pistas y Veredas de la Av. Girasoles del Distrito de Amarilis - Provincia de Huánuco - Departamento de Huánuco"
 UBICACIÓN : Av. Girasoles del Distrito de Amarilis - Provincia de Huánuco - Departamento de Huánuco
 SOLICITA : Municipalidad Distrital de Amarilis
 CANTERA : Cantera Andabamba
 FECHA : Abril del 2021

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO - AGREGADO GRUESO

TAMIZ No	DIÁM. (mm)	PESO RETENIDO	% RETE. PARCIAL	% RET. ACUMUL.	% QUE PASA	ESPECIFICACIONES ASTM C33/C33M - 18 - HUSO # 67	TAMAÑO MÁXIMO
3"	76.20					100.00 : 100.00	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA PIEDRA CHANCADA 100.0%
2"	50.80					100.00 : 100.00	
1 1/2"	38.10				100.00	100.00 : 100.00	
1"	25.40	56.00	0.94	0.94	99.06	100.00 : 100.00	
3/4"	19.05	856.00	14.37	15.31	84.69	90.00 : 100.00	
1/2"	12.70	956.30	16.05	31.35	68.65	50.00 : 79.00	
3/8"	9.53	1458.20	24.47	55.83	44.17	20.00 : 55.00	
1/4"	6.35	1152.00	19.33	75.16	24.84	0.00 : 25.00	
No 4	4.76	1124.10	18.86	94.02	5.98	0.00 : 15.00	
Nº 8	2.38	356.10	5.98	100.00	0.00	0.00 : 5.00	
No 10	2.00	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00 : 0.00	% DE GRAVAS = 94.0%
Nº 16	1.19	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00 : 0.00	% DE ARENAS = 6.0%
No 20	0.84	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00 : 0.00	% DE LIMO-ARCILLA = 0.0%
No 30	0.59	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00 : 0.00	COEFICIENTE DE CURVATURA = 0.16
No 40	0.43	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00 : 0.00	COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD = 1.60
No 50	0.30	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00 : 0.00	CLASIFICACION
No 60	0.25	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00 : 0.00	SUCS : GP
No 100	0.15	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00 : 0.00	AASHTO : A1 - a (0)
No 200	0.07	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00 : 0.00	OBSERVACIONES
CAZOLETA	0.00	6.00		100.00			Pasa Tamiz Nº 200 = 0.00
TOTAL		3502.20	100.00			Min : Max	



[Firma]
 Elmer Benancio Córdova
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIP Nº 08120

Nota: Imagen tomada del expediente técnico contractual de la obra

Figura 18: Propiedades del material de relleno para base obtenido del expediente técnico contractual

OBRA : "Creacion de Pistas y Veredas de la Av. Girasoles del Distrito de Amarilis - Provincia de Huánuco - Departamento de Huánuco"
 UBICACIÓN : Av. Girasoles del Distrito de Amarilis - Provincia de Huánuco - Departamento de Huánuco
 SOLICITA : Municipalidad Distrital de Amarilis
 CANTERA : Cantera Andabamba
 FECHA : Abril del 2021

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO - AGREGADO GRUESO

TAMIZ No	DIÁM. (mm)	PESO RETENIDO	% RETE. PARCIAL	% RET. ACUMUL.	% QUE PASA	ESPECIFICACIONES ASTM C33/C33M - 18 - HUSO # 67	TAMAÑO MÁXIMO
3"	76.20					100.00 : 100.00	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
2"	50.80					100.00 : 100.00	
1 1/2"	38.10				100.00	100.00 : 100.00	PIEDRA CHANCADA 100.0%
1"	25.40	56.00	0.94	0.94	99.06	100.00 : 100.00	
3/4"	19.05	856.00	14.37	15.31	84.69	90.00 : 100.00	
1/2"	12.70	956.30	16.05	31.35	68.65	50.00 : 79.00	
3/8"	9.53	1458.20	24.47	55.83	44.17	20.00 : 55.00	LIMITE DE CONSISTENCIA
1/4"	6.35	1152.00	19.33	75.16	24.84	0.00 : 25.00	
No 4	4.76	1124.10	18.86	94.02	5.98	0.00 : 15.00	% DE GRAVAS = 94.0%
Nº 8	2.38	356.10	5.98	100.00	0.00	0.00 : 5.00	% DE ARENAS = 6.0%
No 10	2.00	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00 : 0.00	% DE LIMO-ARCILLA 0.0%
Nº 16	1.19	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00 : 0.00	
No 20	0.84	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00 : 0.00	
No 30	0.59	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00 : 0.00	COEFICIENTE DE CURVATURA = 0.16
No 40	0.43	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00 : 0.00	COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD = 1.60
No 50	0.30	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00 : 0.00	CLASIFICACION
No 60	0.25	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00 : 0.00	SUCS : GP
No 100	0.15	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00 : 0.00	AASHTO : A1 - a (0)
No 200	0.07	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00 : 0.00	OBSERVACIONES
CAZOLETA	0.00	6.00		100.00			Pasa Tamiz Nº 200 = 0.00
TOTAL		3502.20	100.00			Min : Max	



[Firma]
 Elmer Benancio Córdova
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIP Nº 08120

Nota: Imagen tomada del expediente técnico contractual de la obra

Figura 19: Propiedades del material de relleno para base obtenido del expediente técnico contractual

Tipo de Suelo	Modelo del material	E (KN/m ²)	v poisson	PE seco (KN/m ³)	PE saturado (KN/m ³)	Cohesión (KN/m ²)	Angulo de fricción (°)	Angulo de dilatación (°)
Grava arenosa	Mohr Coulomb	108873	0.35	17.2	19.95	0	30	5

Nota: Datos obtenidos con ayuda del expediente técnico contractual de la obra

Figura 20: Propiedades del Relleno Fluido Suelo-Cemento trabajado en El Salvador, Suelo N° 2.

SUELO N°2		EDAD		28 DÍAS
PARA 7 Kg/cm ²	N° ESPECIMENES	σ (Kg/cm ²)	σ Promedio (Kg/cm ²)	σ Promedio General (Kg/cm ²)
BACHADA N°1	13	24.64	27.25	27.33
	14	27.43		
	15	28.02		
	16	27.49		
	17	29.72		
BACHADA N°2	13	28.46	27.27	
	14	27.92		
	15	26.59		
	16	26.11		
	17	26.67		
BACHADA N°3	13	26.45	27.01	
	14	26.02		
	15	27.45		
	16	27.65		
	17	27.15		
BACHADA N°4	13	28.22	27.79	
	14	28.43		
	15	27.57		
	16	27.92		
	17	26.47		
	18	28.13		

SUELO N°2		
PARA 7 Kg/cm ²	Peso Volumetrico (Kg/m ³)	Peso Volumetrico Promedio (Kg/m ³)
BACHADA N°1	1673.28	1674.70
BACHADA N°2	1678.96	
BACHADA N°3	1676.12	
BACHADA N°4	1670.45	

Nota. Se presenta el resumen de resultados de la resistencia a la compresión de cilindros a los 28 días de edad y un diseño de 7kg/cm² y del peso específico, para un suelo granular cuyo Modulo de Poisson es igual a 0.35. Imagen tomada de la tesis “Diseño de mezclas de materiales de resistencia baja controlada (lodocreto), utilizando bancos de préstamos de la zona central de el salvador para su aplicabilidad vial”. Delgado, López, & Toledo, 2018.

Con las variables mostradas se sigue con la generación del modelo matemático para cada una de las propuestas. Esto se realiza siguiendo los pasos y/o secuencia que se indica.

3.6.2.2 Introducción de datos y preprocesador

El suelo como bien sabemos es un material del tipo anisotrópico, motivo por el cual su esquematización y por sobre todo su respuesta ante fenómenos externos sea complicada; por dicha razón se tienen muchos modelos que facilitan la evaluación de algunos comportamientos, según lo mencionado por Brinkgreve (2004):

Los suelos y las rocas tienen tendencia a comportarse de una forma fuertemente no lineal bajo los efectos de las cargas. Este comportamiento tensión-deformación no lineal puede ser modelizado con diversos niveles de sofisticación. Sin embargo, el número de parámetros del modelo se incrementa al aumentar ese nivel de sofisticación. El conocido modelo de Mohr-Coulomb puede ser considerado como una aproximación de primer orden al comportamiento real del suelo. Este modelo elástico perfectamente plástico exige cinco parámetros de entrada básicos, a saber: un módulo de Young (E), un coeficiente de Poisson (μ), una cohesión (c), un ángulo de fricción (ϕ) y un ángulo de dilatación (ψ). (p. 3-37)

Si bien el proceso de modelado y cálculo sería factible realizarlo de manera manual mediante hojas de cálculo, estos resultados obtenidos no serían tan exactos como los que se obtienen al usar un software de cálculo como el caso de PLAXIS 2D.

A fin de obtener resultados más exactos, en la tesis que se presenta se hace el empleo del modelo Mohr-Coulomb, con el cual a través del programa PLAXIS 2D se realizará la discretización de elementos o como también se conoce el método de elementos finitos, con el cual tendremos resultados más precisos de esfuerzo y deformación. (Brinkgreve, 2004, p. 1-1).

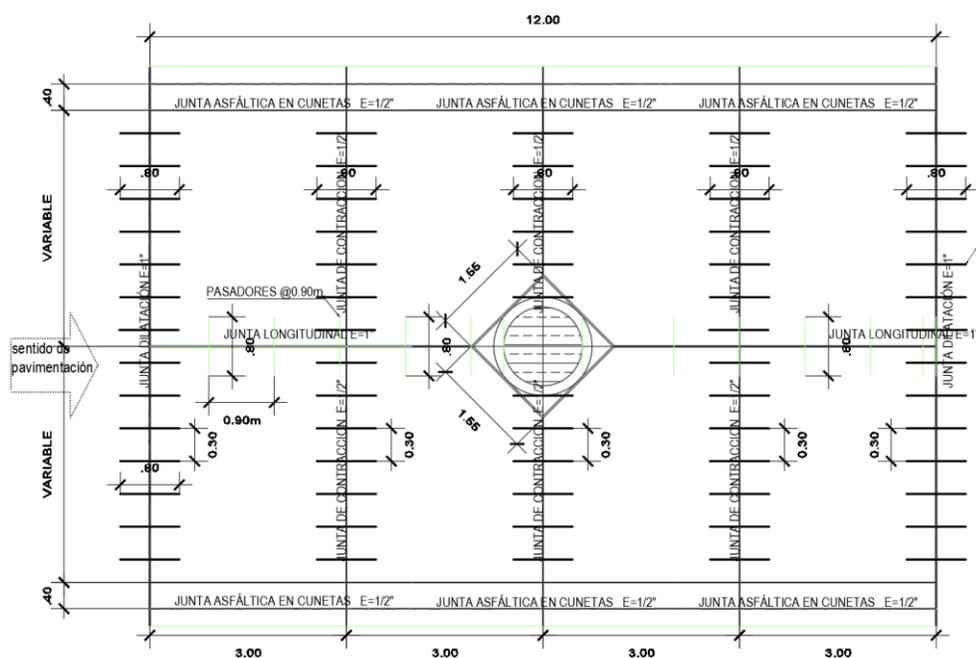
Para poder lograr el análisis geotécnico de la forma que se menciona, es importante la creación de la malla de elementos finitos, introducir las características de los materiales y las formas del entorno, con ello se logrará realizar la comparación entre el uso de material de préstamos y el uso de RFSC para la base del paquete estructural.

3.6.2.2.1 Creación de la geometría

La forma geométrica para hallar el comportamiento del tipo de suelo frente a la mejora de sus propiedades, es necesario esquematizar un modelo matemático a través del cual se represente las características del mismo.

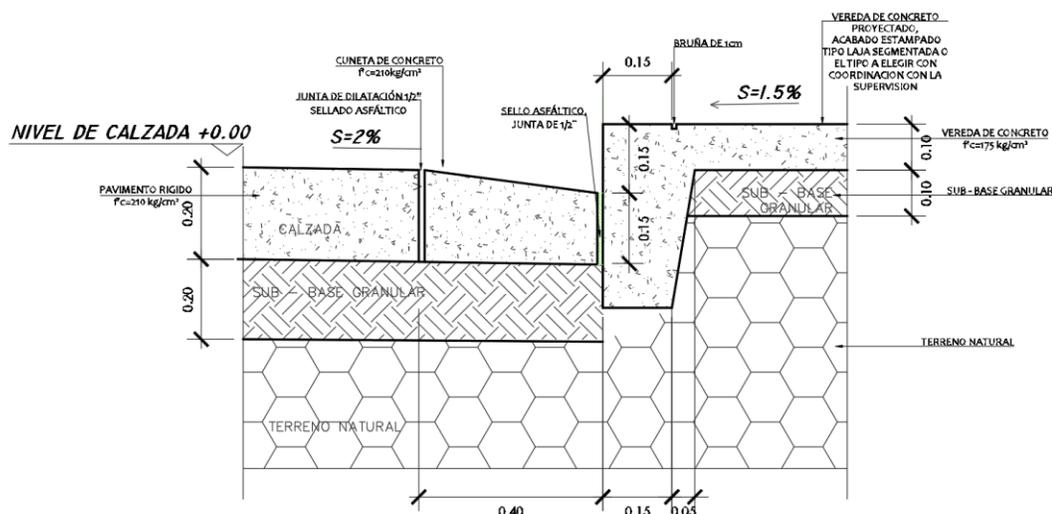
Para la presente investigación, se usaron como guía para la geometría los planos que se tienen de la obra “MEJORAMIENTO DEL SERVICIO VIAL URBANO EN LA PROLONGACIÓN LOS GIRASOLES Y LA AV. GIRASOLES DEL DISTRITO DE AMARILIS, HUANUCO - HUÁNUCO”.

Figura 21: Plano de planta típica de carpeta rígida



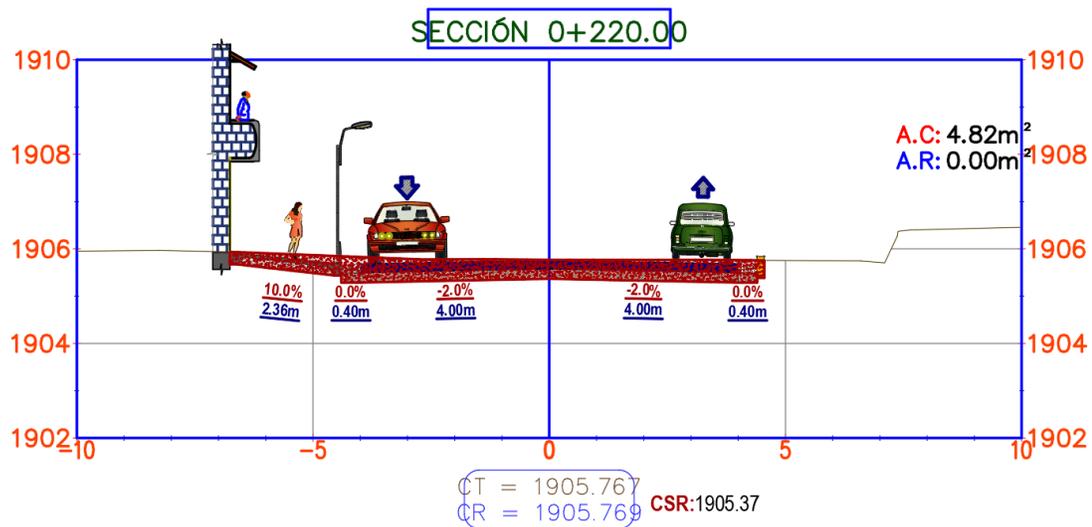
Nota: Imagen tomada del expediente técnico contractual de la obra

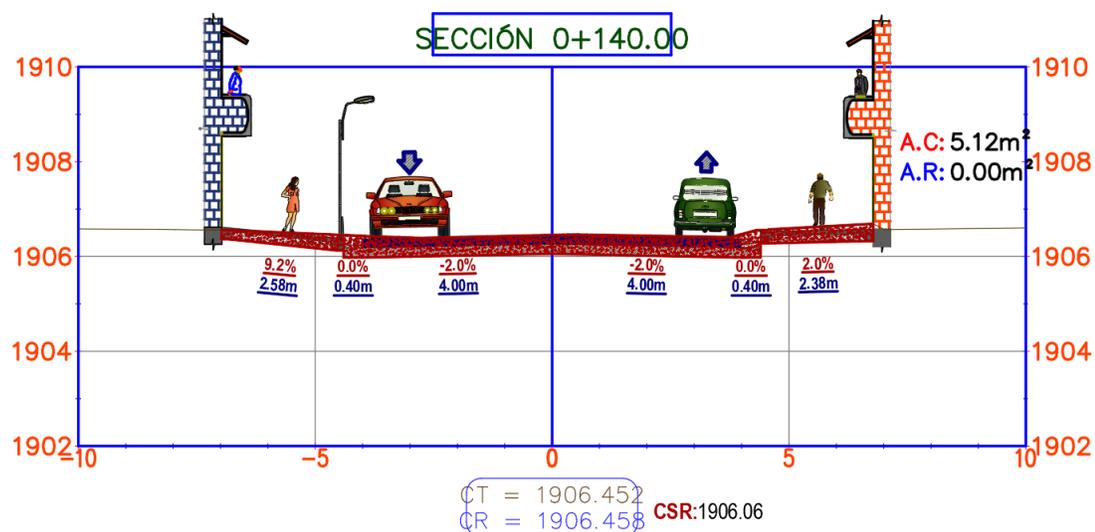
Figura 22: Plano de sección del paquete estructural



Nota: Imagen tomada del expediente técnico contractual de la obra

Figura 23: Detalle de secciones típicas del pavimento

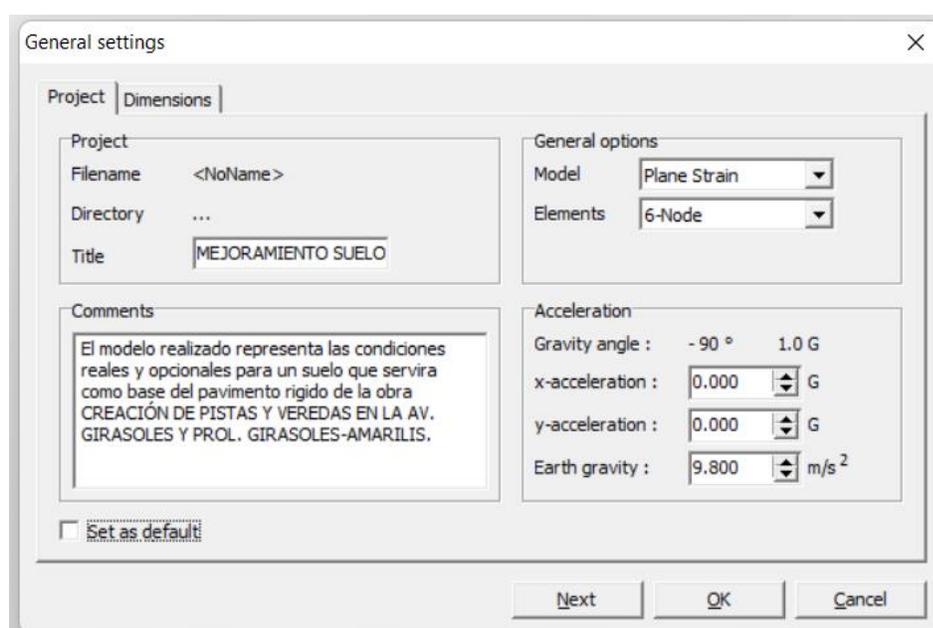


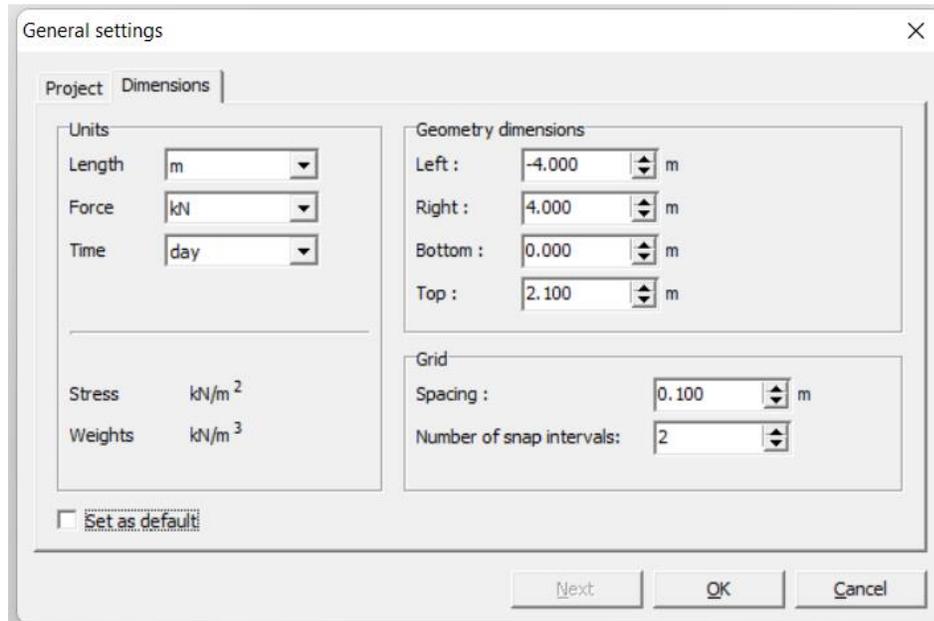


Nota: Imagen tomada del expediente técnico contractual de la obra

A fin de uniformizar el modelo esquemático en el programa, se plantea una estructura de pavimento con un ancho de 8 m, 4 m por carril. Este modelo será creado mediante líneas, puntos, entre otros. Es necesario crear un entorno completo de la forma geométrica que se analizará.

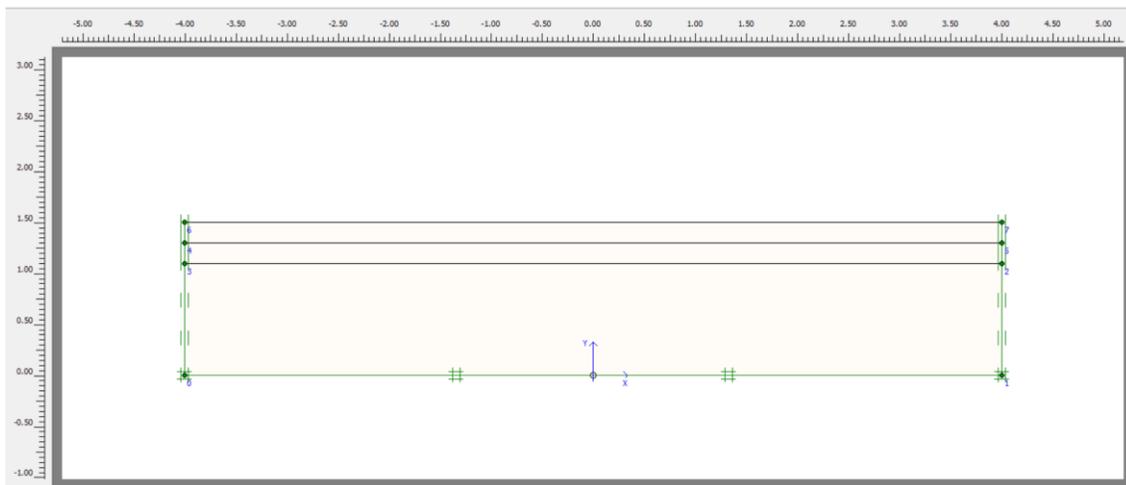
Figura 24: Creación del proyecto en el programa PLAXIS 2D del modelo analizado





Nota: Imagen tomada del expediente técnico contractual de la obra

Figura 25: Geometría planteada del modelo matemático en el programa PLAXIS 2D



Nota: Imagen tomada del expediente técnico contractual de la obra

3.6.2.2.2 Asignación de las cargas y condiciones de contorno

En el programa PLAXIS 2D nos es posible introducir las cargas que sean necesarias para el proyecto, estas pueden ser puntuales o distribuidas.

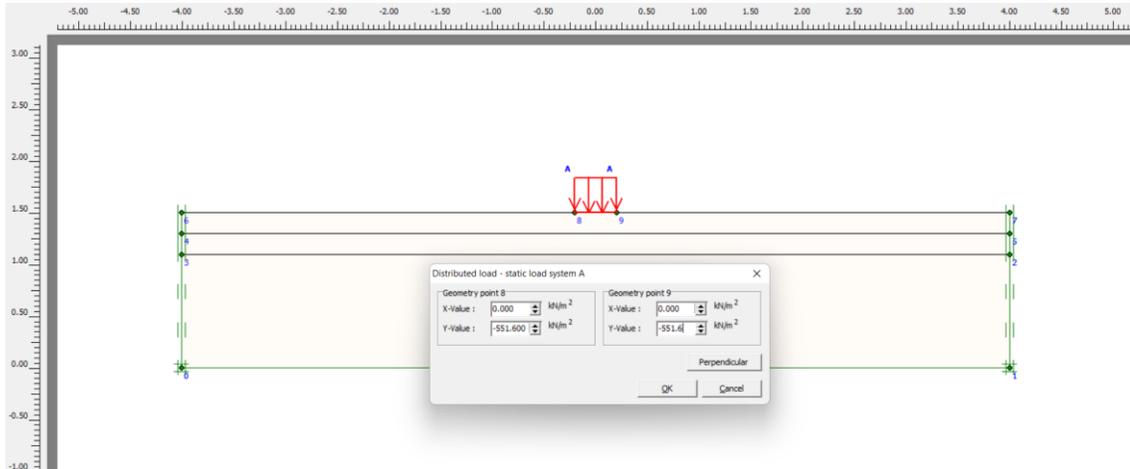
Para la presente investigación los datos de carga serán usados de lo mencionado según el manual de pavimentos del MTC.

“El efecto del tránsito se mide en la unidad definida, por AASHTO, como Ejes Equivalente (EE) acumulados durante el periodo de diseño tomado en el análisis. AASHTO definió como un EE, al efecto de deterioro causado sobre el pavimento por un eje simple de dos ruedas convencionales cargado con 8.2 Ton de peso, con neumáticos a la presión de 80 lb/pulg². Los Ejes Equivalente (EE) son factores de equivalencia que representan el factor destructivo de las distintas cargas, por tipo de eje que conforman cada tipo de vehículo pesado, sobre la estructura del pavimento”. (Manual de Carreteras Suelos Geología, Geotecnia y Pavimentos – Sección Suelos y Pavimentos RDN N° 10 – 214 – MTC/14, p. 64). Del cual se concluye que se tiene una carga estimada equivalente a 551.6 KN/m².

A su vez, dicha carga estará distribuida sobre un ancho promedio de 40 cm, equivalente al ancho de la rueda de un vehículo promedio.

Dichas cargas son ingresadas al modelo geométrico, a través de la carga del tipo A (cuyo sentido es en la dirección de la gravedad), ubicándolas en el centro del modelo geométrico.

Figura 26: Asignación de cargas al modelo geométrico



Nota: Elaboración propia, imagen generada del entorno de trabajo del programa PLAXIS 2D

3.6.2.2.3 Propiedades de los materiales

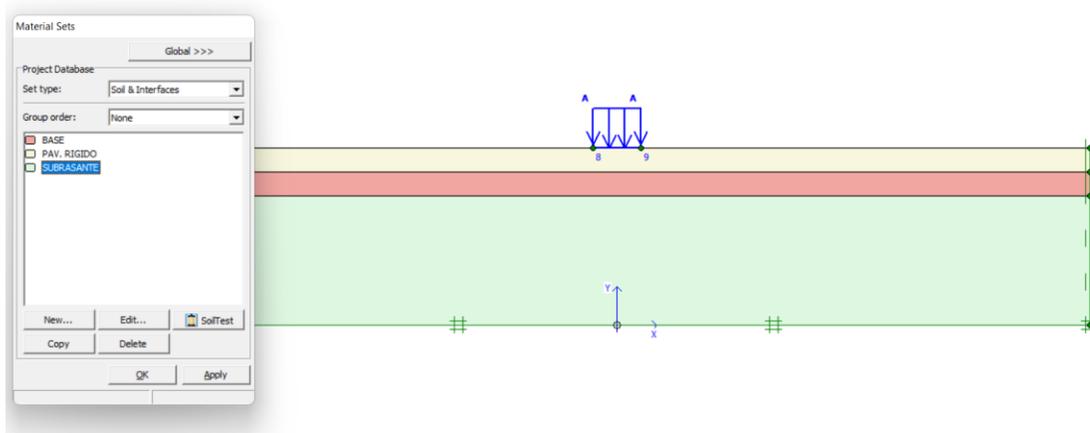
Los datos que serán necesarios para ejecutar un modelo de Mohr-Coulumb son los siguientes: Modulo de Young (E), coeficiente de Poisson (μ), cohesión (c), ángulo de fricción (φ) y ángulo de dilatación (ψ); dichos valores fueron obtenidos del expediente técnico y sacados de fuentes especializada, los cuales nos ayudarán a plantear los modelos matemáticos que ayudarán a realizar la comparación entre el material de relleno usado en obra y el RFSC.

Tabla 14: Datos geotecnicos para la introducción de datos en PLAXI 2D.

Descripción	Tipo de suelo	Modelo del material	E (KN/m ²)	v poisson	PE seco (KN/m ³)	PE saturado (KN/m ³)	Cohesión (KN/m ²)	Angulo de fricción (°)	Angulo de dilatación (°)
SubRasante	Grava limosa	Mohr Coulumb	723380	0.3	16	18.59	15	10	5
Base	Grava arenosa	Mohr Coulumb	108873	0.35	17.2	19.95	0	30	0
Carpeta	Concreto 280 Kg/cm ²	Mohr Coulumb	24614496.4	0.2	24	24	0	0	0
RFSC (fc=27.33Kg/cm ²)	"Lodocreto", material granular	Elástico Lineal	5247208	0.35	16.42	16.42	0	0	0

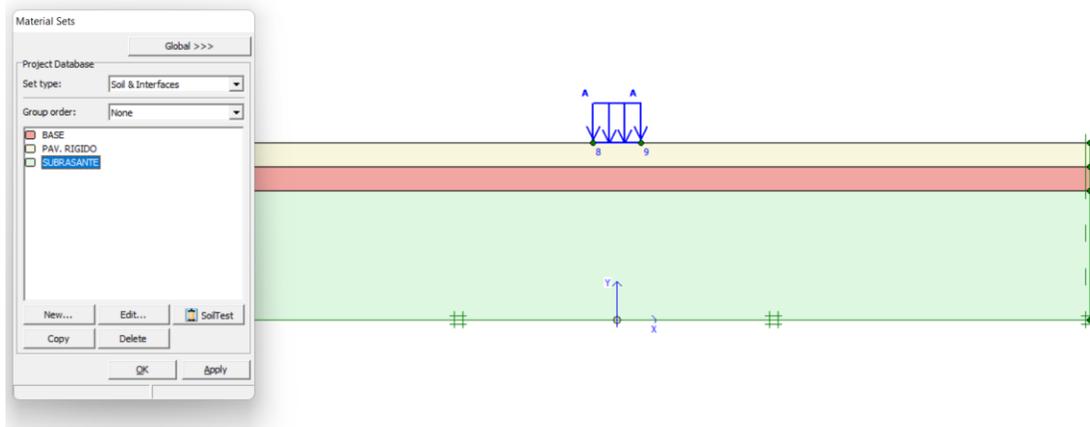
Nota: Tabla generada a partir de los datos del expediente técnico contractual y demás trabajos afines.

Figura 27: Asignación de las propiedades de los materiales al modelo geométrico del Material de Relleno



Nota: Elaboración propia, imagen generada del entorno de trabajo del programa PLAXIS 2D

Figura 28: Asignación de las propiedades de los materiales al modelo geométrico del Relleno Fluido Suelo Cemento (RFSC)

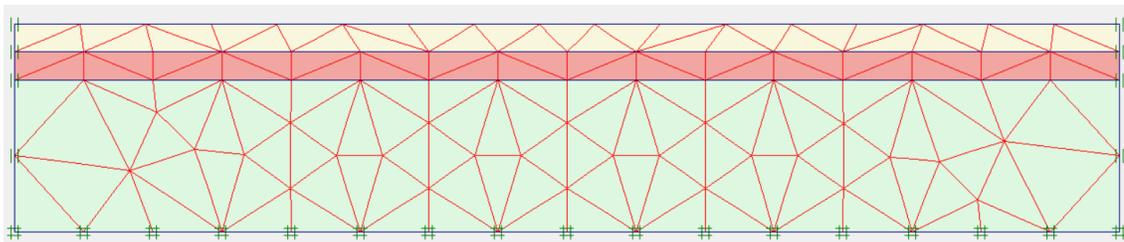


Nota: Elaboración propia, imagen generada del entorno de trabajo del programa PLAXIS 2D

3.6.2.2.4 Generación de la malla de elementos finitos

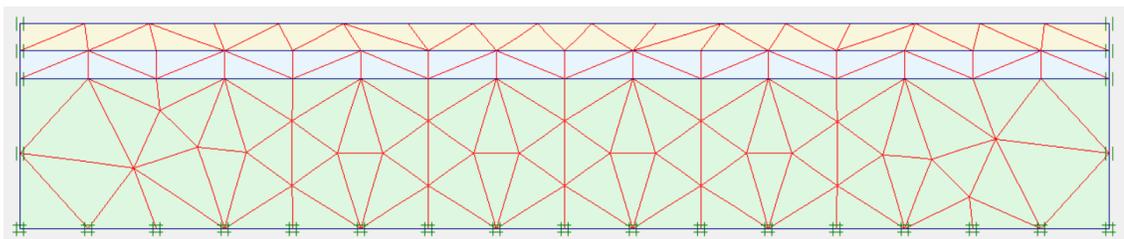
Teniendo definido el modelo geométrico y habiéndose designado las características correspondientes cada objeto estructural, se procede a dividir la geometría en elementos finitos a fin de realizar los cálculos que le siguen. A esta división de la geometría se le da el nombre de malla.

Figura 29: Malla de elementos finitos para el modelo de material de relleno



Nota: Elaboración propia, imagen generada del entorno de trabajo del programa PLAXIS 2D

Figura 30: Malla de elementos finitos para el modelo de Relleno Fluido Suelo-Cemento



Nota: Elaboración propia, imagen generada del entorno de trabajo del programa PLAXIS 2D

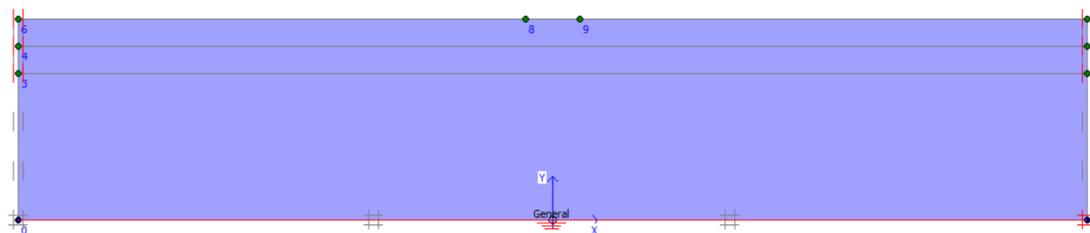
3.6.2.2.5 Condiciones iniciales

Una vez generado el modelo geométrico, designado las características de los materiales y creado la malla de elementos finitos; sigue el definir las condiciones iniciales para realizar el proceso de cálculo.

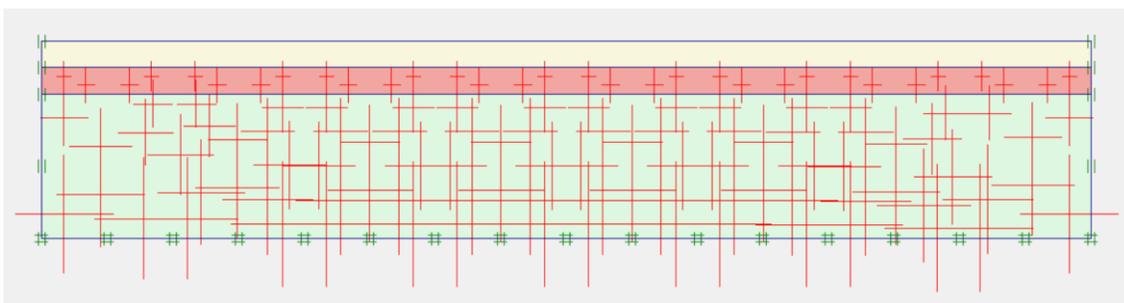
El programa PLAXIS 2D funciona en base a dos condiciones iniciales, la primera es en función a las presiones iniciales del agua, mientras que la segunda incide en la configuración primaria de la geometría y la creación del campo de tensiones efectivas.

A continuación, se muestran dichas condiciones asignadas al modelo matemático:

Figura 31: Condiciones iniciales para mejoramiento de suelo con material de relleno.



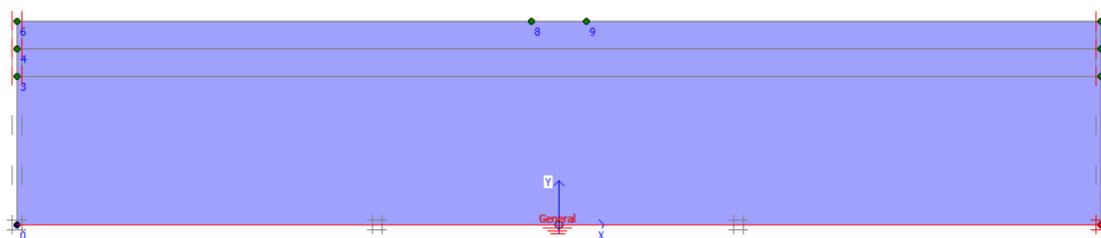
(a)



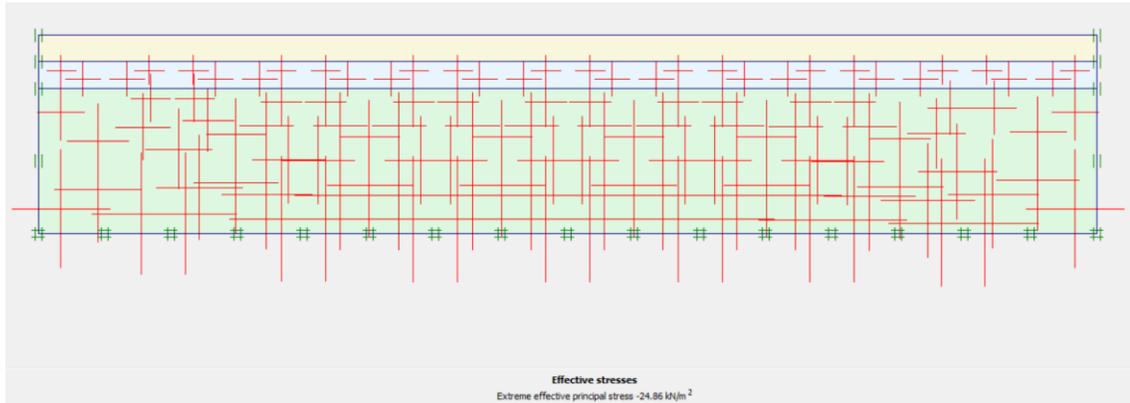
(b)

Nota: a) condiciones iniciales referentes al flujo. b) condiciones iniciales referentes a geometría para el modelo de mejoramiento con material de relleno. Elaboración propia, generada del entorno de trabajo del programa PLAXIS 2D.

Figura 32: Condiciones iniciales para mejoramiento de suelo con RFSC.



(a)



(b)

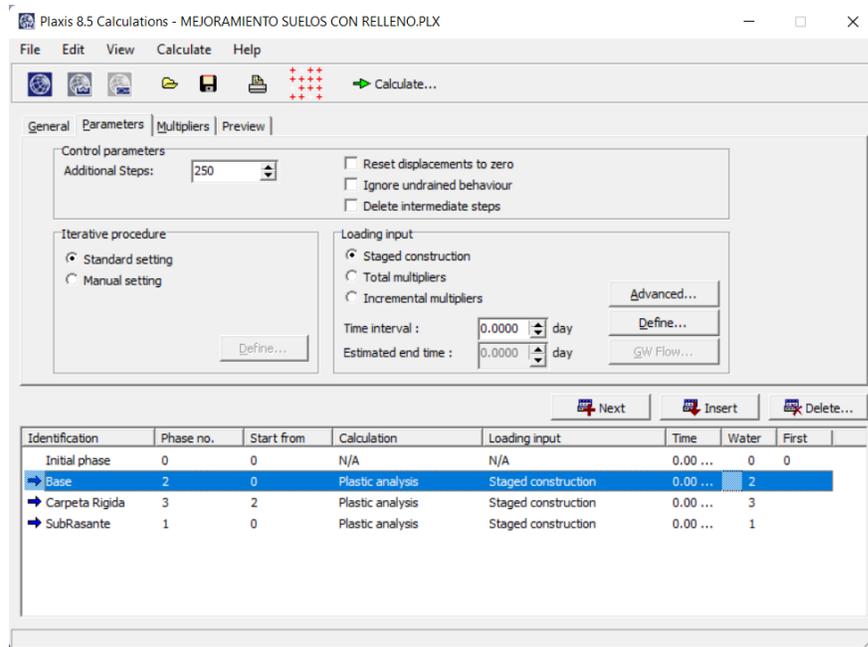
Nota: a) condiciones iniciales referentes al flujo. b) condiciones iniciales referentes a geometría para el modelo de mejoramiento con RFSC. Elaboración propia, generada del entorno de trabajo del programa PLAXIS 2D.

3.6.2.3 Procedimiento de cálculo

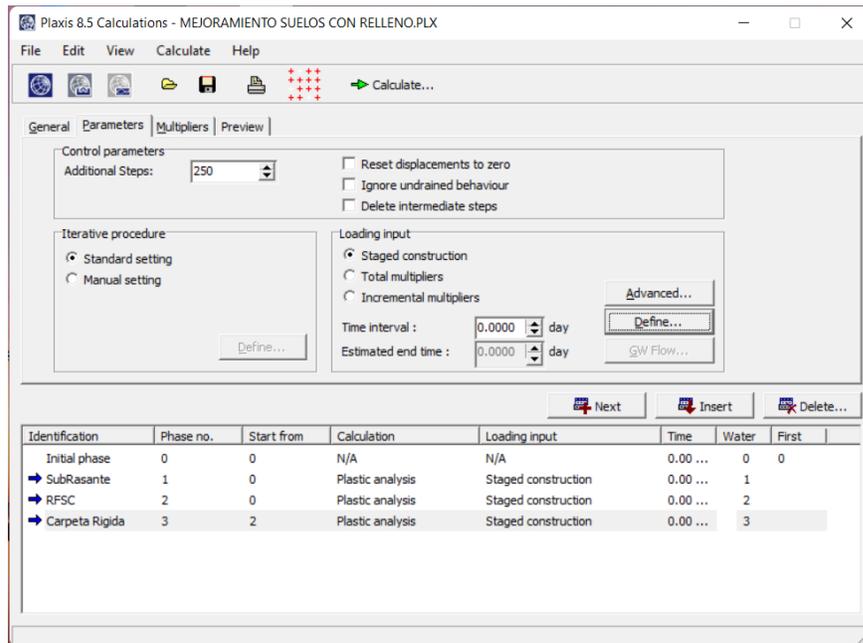
Cuando se concluyó los procesos en el subprograma input, se prosigue a realizar los cálculos en el programa PLAXIS 2D, para esto es primordial concluir las formas de calculo a emplear, el tipo de cargas o las etapas que se evaluarán del modelo matemático.

Para la comparación entre el mejoramiento con material de relleno y RFSC, se ha considerado etapas de construcción en la que se evalúan la subrasante, la base y la carpeta rígida y de ser el caso el material RFSC, estas etapas se calculan tal como se muestra:

Figura 33: Ubicación del subprograma Calculations de PLAXIS 2D



(a)



(b)

Nota: a) Cálculos por etapas constructivas para modelo de mejoramiento con material de relleno. b) Cálculos por etapas constructivas para modelo de mejoramiento con RFSC. Elaboración propia, imagen generada del entorno de trabajo del programa PLAXIS 2D.

3.6.2.4 Análisis de resultados

El subprograma output de PLAXIS 2D ofrece principalmente la lectura y análisis de resultados de los desplazamientos en los nudos y las tensiones en los puntos de tensión; además cuando el modelo de elementos finitos incluye elementos estructurales, se calculan los esfuerzos en dichos elementos (Brinkgreve, 2004).

3.7 Aspectos éticos

Respecto a los aspectos éticos formulados para el estudio, tuvieron como base fundamental el permanecer sujetas a confidencialidad y reserva acerca de los datos obtenidos en los trabajos de campo. Dichos datos se extrajeron con la única finalidad de efectuar el análisis acerca del objeto en estudio.

CAPÍTULO IV.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Análisis de discurso o contenido

Lo que se trata de lograr con la presente investigación es crear la reflexión y debate acerca de que tan viable puede llegar a ser usar el relleno fluido suelo-cemento con la finalidad de mejorar las características de los suelos cuyas propiedades sean deficientes para su implementación como base estructural.

En el ámbito nacional se suele emplear el material de relleno tradicional a fin de lograr mejorar las características de los suelos. Este método de mejora es sustentado por el Manual de Carreteras Suelos Geología, Geotecnia y Pavimentos – Sección Suelos y Pavimentos RDN N° 10 – 214 – MTC/14 Cap. IX Estabilización de Suelos. De esta forma el mejoramiento de suelos en obras viales queda limitada a la aplicación de diversos métodos los cuales podrían o no ser convenientes para un proyecto.

Tal como se mencionó anteriormente el RFSC, es un material que es bastante eficiente para poder ser usado como solución en el mejoramiento de suelos; no obstante, el escaso conocimiento del tema, la poca cantidad de estudios realizados y la desconfianza de usar un suelo como material estructura dan por resultado que dicha mezcla quede excluida a la hora de usarlo en los proyectos.

Como ya se explicó, las diversas propiedades de este material en su estado fresco, le permiten expandirse en la superficie a mejorar, tener mejor adaptabilidad a los encofrados y principalmente llegar a lugares a de difícil acceso. Mientras que en su estado endurecido, la principal virtud de este material termina siendo su resistencia controlada, lo cual permite obtener una gran variedad de posibilidades ajustables a las necesidades del proyecto.

4.2 Análisis de topologías

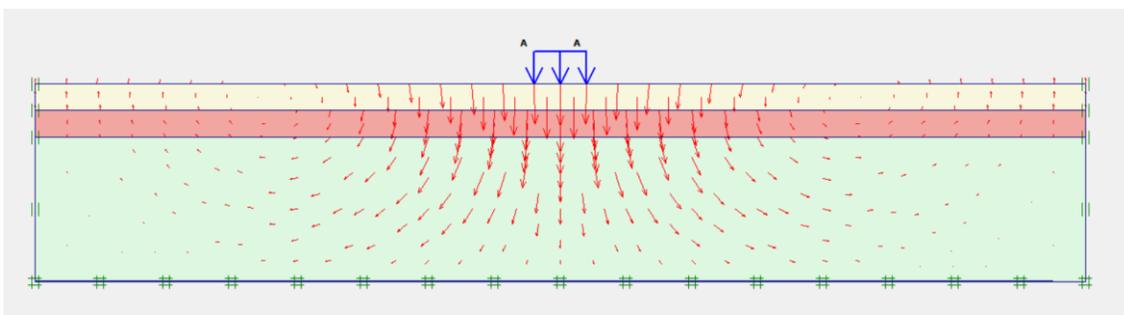
Con la finalidad de analizar las respuestas del suelo frente al mejoramiento con material de relleno y con RFSC, el análisis realizado se enfocó principalmente en un

análisis técnico general, con el cual podremos obtener datos de asentamientos con lo cual se dará una comparación entre las diferencias entre ambos tipos de suelo.

4.2.1 Asentamientos

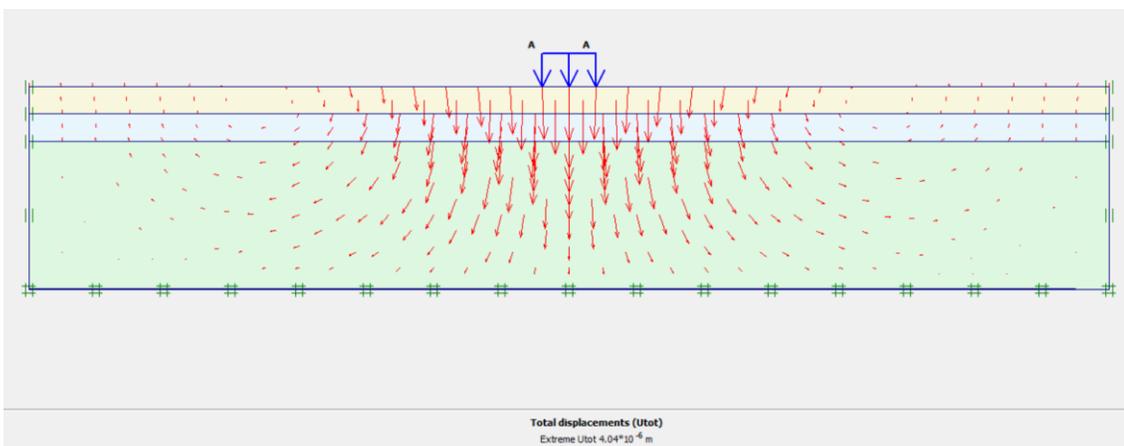
Los asentamientos se analizan en el punto central elegido de forma arbitraria y según las condiciones dadas por el programa PLAXIS 2D, este punto tiene como coordenada A (0.00,1.50). Cuya ubicación está en la parte superior de la carpeta rígida.

Figura 34: Distribución de esfuerzos y deformaciones en el modelo geométrico con material de relleno



Nota: Elaboración propia, imagen generada del entorno de trabajo del programa PLAXIS 2D

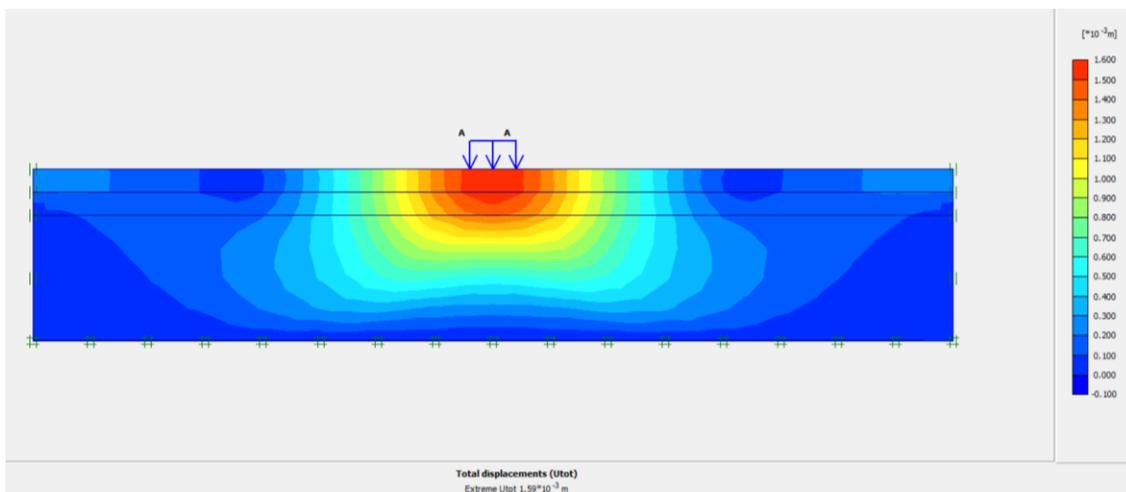
Figura 35: Distribución de esfuerzos y deformaciones en el modelo geométrico con RFSC



Nota: Elaboración propia, imagen generada del entorno de trabajo del programa PLAXIS 2D

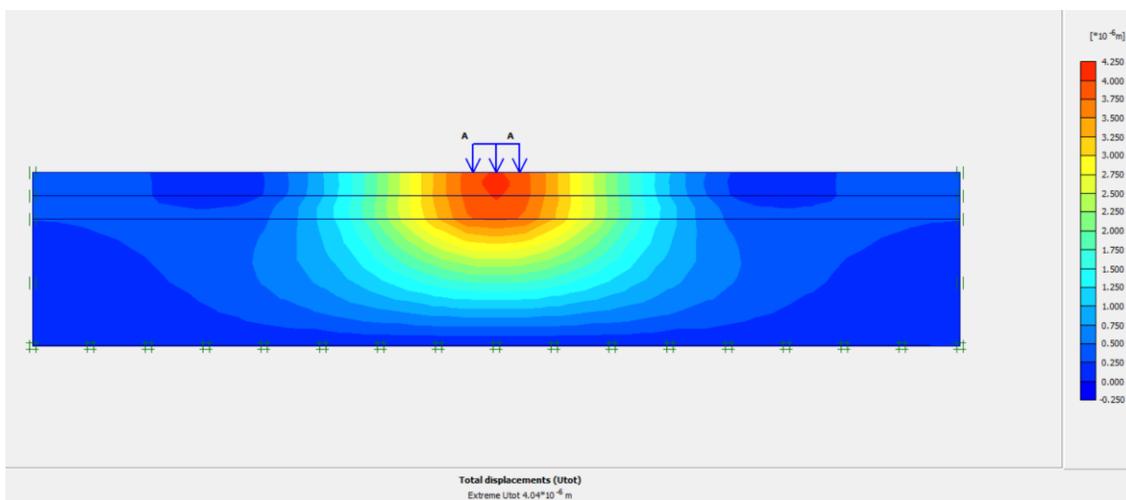
En las imágenes mostradas a continuación se puede ver el rango de resultados obtenidos para los asentamientos producidos al emplear como material para mejorar las características de los suelos, ya sea el caso de material de relleno o el material RFSC.

Figura 36: Asentamientos producidos en mejoramiento con material de relleno.



Nota: Elaboración propia, imagen generada del entorno de trabajo del programa PLAXIS 2D

Figura 37: Asentamientos producidos en mejoramiento con RFSC.



Nota: Elaboración propia, imagen generada del entorno de trabajo del programa PLAXIS 2D

Con los parámetros generados en el programa PLAXIS 2D se estudia los asentamientos producidos en el punto A, dichos resultados se muestran a continuación para los 2 modelos estudiados:

Con material de relleno : $U_y = 1.59 \text{ mm}$

Con material RFSC : $U_y = 0.004 \text{ mm}$

Análisis: El asentamiento obtenido en el punto A al emplearse RFSC como material para mejorar las características del suelo, tiene una diferencia significativa a comparación de emplear material de relleno; dicha diferencia es encontrada debido a las características que posee el RFSC la cual, logra dar una mejor respuesta ante cargas actuantes sobre la estructura del pavimento, haciendo de esta forma que la misma sea mas resistente ante los diversos problemas o fallas que podrían producirse en el pavimento, incidiendo principalmente en la falla por deformación permanente o ahuellamiento y tomando en cuenta también la falla por fatiga, entre otros.

Por último, en función a los parámetros analizados, se observa una mejoría en el uso del suelo RFSC frente al material de relleno tradicional, sin embargo para tramos de gran envergadura como el caso de obras viales en las cuales es necesario el uso de una gran cantidad de material para ser usado como relleno, podría replantearse el uso de este material, puesto que debido a sus mejores características, si bien la diferencia de costos no podría ser significativa para pequeñas cantidades, la diferencia sería notoria en grandes cantidades como el caso de obras viales; por ello si bien es viable en el aspecto técnico, se tendría que evaluar mas a detalle su factibilidad en obras en las cuales se necesite de gran cantidad de material RFSC.

Por ello se recomienda que al ser usado se haga una evaluación mas amplia, en la que se abarque los temas económicos y del tiempo que se tomaría en su uso; lo cual, de fuentes estudiadas se vio que el plazo para su ejecución es menor y los costos no son tan diferentes, pero estas fuentes inciden específicamente en su uso en obras de edificaciones, lo cual dista del uso que se busca dar con la presente investigación, para lo cual sería

necesaria una investigación más a detalle, de esta forma concluir si es necesario o no su uso en obras viales.

4.3 Teorías implícitas

- El Relleno Fluido Suelo-Cemento (RFSC), es un material el cual debería ser considerado para su uso en mejora de las características del suelo. Este resultaría bastante funcional debido a sus cualidades en su condición fresca y endurecida, sus capacidades de nivelarse y compactarse mas fácilmente que otros materiales, así como su alta resistencia y poca densidad, harían de este el material de optimo reemplazo para el relleno tradicional.
- La respuesta estructural de este material, esta totalmente ligada a las cargas externas que actúen sobre ella proveniente de las acciones vehiculares, por ello es necesaria una profunda investigación de los parámetros de carga sobre el pavimento para así obtener resultados mas exactos del material.

CONCLUSIONES

- Para la presente investigación se hizo uso de modelos matemáticos a fin de evaluar la viabilidad del uso de material RFSC como reemplazo del material de relleno tradicional, los parámetros que nos sirvieron para realizar el estudio se obtuvieron del expediente técnico de la obra “MEJORAMIENTO DEL SERVICIO VIAL URBANO EN LA PROLONGACIÓN LOS GIRASOLES Y LA AV. GIRASOLES DEL DISTRITO DE AMARILIS, HUANUCO - HUÁNUCO”, así como también de diversas fuentes en las cuales se hayan realizado investigaciones con RFSC. De esta forma se logró evaluar el comportamiento del paquete estructural en conjunto y obtener resultados de esfuerzos y deformaciones.
- El conocimiento que se tiene del Relleno Fluido Suelo-Cemento es bastante reducido a nivel nacional, sin embargo, se tienen registros de diversas obras viales o de pavimentación en los cuales se viene integrando dicho material para la estabilización de bases y subbases, de esta forma conseguir la mejora en las características de la cimentación de la carpeta estructural del pavimento.
- Según el código ACI 299R en el cual se tiene información acerca de los parámetros de resistencia de material RFSC, se destaca que su resistencia a la compresión tiene valores que están comprendidos entre 3 a 7 Kg/cm², aunque podría alcanzar fácilmente valores mucho mayores, lo cual al comparar con las cualidades de un suelo de relleno bien compactado cuya resistencia se encuentra entre 6 a 8 Kg/cm², podemos concluir que son bastante cercanos en cuanto a resistencia.
- Luego de analizar los resultados dados por el programa PLAXIS 2D se puede ver una diferencia en el asentamiento producido al usar los dos materiales estudiados en a presente investigación, viéndose que al emplearse material de relleno tradicional se obtuvo un asentamiento de 1.59 mm, mientras que al emplear RFSC se obtuvo un asentamiento de 0.004 mm; con lo cual se podría

concluir de manera rápida que el RFSC tiene una mejor respuesta ante los asentamientos comparado con el material de relleno tradicional, resultado que se da debido a que las propiedades ingresadas al programa para el RFSC son mucho más óptimas que las del material de relleno tradicional.

- Al analizar los resultados obtenidos, se puede concluir a primera inspección que el material RFSC podría sustituir sin problemas a cualquier material de relleno tradicional, sin embargo, esto es desde el punto de vista técnico; debemos tener en cuenta que en los proyectos de ingeniería muchas veces los factores que más priman son el costo de inversión y el plazo de ejecución, por ello tendría que realizarse una evaluación de estos dos factores para poder concluir verdaderamente si es más conveniente usar el material RFSC a cambio del material de relleno tradicional.

SUGERENCIAS

- Es recomendable el uso de material RFSC en obras viales en las cuales se tengan suelos cuyas características sean bastante deficientes, o ser considerados cuando el uso de material de relleno tradicional no logre cubrir las deficiencias del suelo que se tiene y en las cuales sería mas conveniente invertir un monto adicional a fin de obtener mejores resultados en el comportamiento del paquete estructural.
- Se sugiere considerar el uso de las diversas formas de estabilización de suelos existentes, tales como las indicadas en el Manual de Carreteras Suelos Geología, Geotecnia y Pavimentos – Sección Suelos y Pavimentos RDN N° 10 – 214 – MTC/14 Cap. IX Estabilización de Suelos, la cual nos da alternativas bastante viables y económicas en algunos casos para poder mejorar las características de determinados tipos de suelo, por ello es necesario realizar una comparación mas a fondo entre estos métodos de estabilización y el método estudiado en la presente investigación, para así poder obtener una solución optima en la ejecución de un proyecto.
- Tal como se indicó, se cuenta con referencia del ACI 299R acerca de la resistencia a compresión del RFSC, por ello es recomendable que el material empleado tenga la característica principal de superar los 7 Kg/cm², puesto que este valor es muy cercano a los valores de un relleno tradicional.
- Los resultados de asentamientos calculados están ligados de forma directa a la resistencia a la compresión del RFSC puesto que el módulo de elasticidad es totalmente dependiente de este, por ello si se desea que los asentamientos sean menores, es necesario incrementar la resistencia a la compresión del RFSC teniendo en cuenta que esta debe ser menor a lo indicado en el ACI299; por este motivo se recomienda trabajar con cantidades equilibradas en el ámbito técnico y a su vez económico con el objetivo de mejorar el suelo en un determinado proyecto.

- Luego de ver los resultados obtenidos al emplear el material RFSC para la mejora de los suelos, es recomendable llevar a cabo investigaciones más a fondo acerca del aspecto económico y del tiempo que conllevaría su ejecución, así se lograría definir con certeza que tan factible resulta ser el uso de este material dentro del ámbito nacional.

REFERENCIAS

- Bayancela Espinel, C. F. (2016). *Análisis comparativo entre suelo cemento y hormigón pobre, como material de sustento para diferentes tipos de cimentación superficial, que requieren éstas alternativas*. [Universidad Católica de Santiago de Guayaquil]. <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/6632>
- Hernández Sampieri, R., y Mendoza Torres, C. P. (2018). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta* (1° edición). McGraw-Hill Education. <https://es.b-ok.lat/book/5830540/2141d8>
- López Ruiz, A. (2001). Mejora geotécnica del suelo. *Informes de la Construcción*, 35(354), 37-49. <https://doi.org/10.3989/ic.1983.v35.i354.2001>
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2018). Resolución Ministerial que modifica la Norma Técnica E.050 Suelos y Cimentaciones del Reglamento Nacional de Edificaciones. *El Peruano*. <https://busquedas.elperuano.pe/download/url/resoluciones-ministeriales-que-modifican-la-norma-tecnica-em-resolucion-ministerial-ns-400-y-406-2018-vivienda-1718935-1>
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2014). Manual de Carreteras Suelos Geología, Geotecnia y Pavimentos – Sección Suelos y Pavimentos RDN N° 10 – 214 – MTC/14

- Peck, R. B., Hanson, W. E., y Thornburn, T. H. (2001). *Ingeniería De Cimentaciones*. Editorial Limusa. <https://es.b-ok.lat/book/9928358/dec143>
- Salgado Ale, O. A., & Peralta Baluarte, R. O. (2016). *Análisis técnico-económico del concreto fluido como reemplazo del relleno estructural compactado – en la construcción de la planta concentradora del proyecto minero Las Bambas* [Universidad Privada de Tacna].
<http://repositorio.upt.edu.pe/handle/20.500.12969/91>
- Santaella, L. E., & Salamanca Correa, R. (2002). Estado del arte del relleno fluido para subbases y bases granulares (Primera parte). *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 12, 9-22.
- Vilcas Carrasco, J. M. (2018). *Planteamiento de mejoramiento del suelo empleando relleno fluido para la construcción de los edificios multifamiliares en la obra casa club recrea «Los Nogales», distrito del Agustino, Lima* [Universidad Nacional Federico Villareal].
- Zegarra-Tarqui, J. L., Santos-de Brito, J., & De Fátima-Carvalho, M. (2015). Escurrimiento en pavimentos de bloques de suelo-cemento: Un abordaje experimental. *Ingeniería. Investigación y Tecnología*, XVI(1), 35-47.
- Bayancela Espinel, C. F. (2016). *Análisis comparativo entre suelo cemento y hormigón pobre, como material de sustento para diferentes tipos de cimentación*

superficial, que requieren estas alternativas. [Universidad Católica de Santiago de Guayaquil]. <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/6632>

López Ruiz, A. (2001). Mejora geotécnica del suelo. *Informes de la Construcción*, 35(354), 37-49. <https://doi.org/10.3989/ic.1983.v35.i354.2001>

Salgado Ale, O. A., y Peralta Baluarte, R. O. (2016). *Análisis técnico-económico del concreto fluido como reemplazo del relleno estructural compactado – en la construcción de la planta concentradora del proyecto minero Las Bambas* [Universidad Privada de Tacna].

<http://repositorio.upt.edu.pe/handle/20.500.12969/91>

Santaella, L. E., y Salamanca Correa, R. (2002). Estado del arte del relleno fluido para subbases y bases granulares (Primera parte). *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 12, 9-22.

Zegarra-Tarqui, J. L., Santos-de Brito, J., y De Fátima-Carvalho, M. (2015). Escurrimiento en pavimentos de bloques de suelo-cemento: Un abordaje experimental. *Ingeniería. Investigación y Tecnología*, 16(1), 35-47.

Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE). (3 de diciembre de 2018). E.050

Mecánica de suelos y cimentaciones. Lima.

ACI 299R-99. (1984). *Materiales de resistencia baja controlada (MRBC)*.

Rucks, L., García, F., A., K., Ponce de León, J., & Hill, M. (2004). *Propiedades físicas*

del suelo. Montevideo.

Bowles, J. (1988). *Propiedades geofísicas de los suelos*. Bogota: Mc Graw-Hill.

Das, B. M. (1999). *Fundamentos de ingeniería geotécnica*. Brooks Cole.

Peck, R. B., Hanson, W. E., & Thornburn, T. H. (1987). *Ingeniería de cimentaciones*.

Lambe, W. (2004). *Mecánica de suelos*. México: Limusa.

González de Vallejo, L. I., Ferrer, M., Ortuño, L., & Oteo, C. (2002). *Ingeniería*

geológica. Madrid: PEARSON EDUCACIÓN.

Das, B. M. (2001). *Principios de ingeniería de cimentaciones*. México: Thomson

Learning.

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

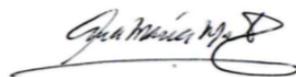
N°090-2022- DI/FICA

La directora de investigación de la Facultad de ingeniería Civil y Arquitectura de la Universidad Nacional Hermilio Valdizan de Huánuco

HACE CONSTAR que:

La Tesis titulada **“REPRESENTACIÓN DEL MÉTODO PARA EMPLEO DEL RELLENO FLUIDO SUELO-CEMENTO EN PERFECCIONAMIENTO DE SUELOS DE DISMINUIDA CAPACIDAD PORTANTE EN OBRAS VIALES – 2022”** del (os) Bachiller (s) **GEAN PIERO SOTO VENTURA** y **GENARO BRYAN SOTO VENTURA** en Ingeniería Civil, Cuenta con un índice de similitud del 28 % verificable en el Reporte de Originalidad del software antiplagio Turnitin. Luego del análisis se concluye que, cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio, por lo expuesto la Tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias, además de presentar un índice de similitud menor al 35% establecido en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional Hermilio Valdizán.

Huánuco, 20 de diciembre del 2022



.....
Dra. Ana María Matos Ramírez
Directora de Investigación FICA

NOMBRE DEL TRABAJO

PROYECTO DE TESIS-SOTO VENTURA.pdf

RECUENTO DE PALABRAS

23969 Words

RECUENTO DE CARACTERES

131243 Characters

RECUENTO DE PÁGINAS

129 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

3.0MB

FECHA DE ENTREGA

Dec 15, 2022 12:22 PM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Dec 15, 2022 12:24 PM GMT-5**● 28% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos

- 27% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 12% Base de datos de trabajos entregados
- 1% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico



ACTA DE SUSTENTACION PRESENCIAL DE TESIS
PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

En la ciudad universitaria de Cayhuayna, a los 15 días del mes de diciembre de 2022, siendo las 11:00 am, se dará cumplimiento a la Resolución Virtual N° 1248-2022-UNHEVAL-FICA-D (Designando a la Comisión de Revisión y sustentación de tesis) y la Resolución Virtual N° 1268-2022-UNHEVAL-FICA-D, de fecha 07.DIC.2022 (Fijando fecha y hora de sustentación virtual de tesis), de la Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura y en concordancia con el Reglamento de Grados y Títulos, en virtud de la Resolución Consejo Universitario N° 0734-2022-UNHEVAL (Titulo III - Aprobación del Trabajos de Investigación, Tesis, Tesis Proyectual..., en Acto Publico Presencial o Virtual art. 77) y Resolución Consejo Universitario N° 2939-2022-UNHEVAL (se programe la sustentación de tesis de Pregrado de Manera Presencial), los Miembros del Jurado van a proceder a la evaluación de la sustentación de la Tesis Titulada: **REPRESENTACIÓN DEL MÉTODO PARA EMPLEO DEL RELLENO FLUIDO SUELO-CEMENTO EN PERFECCIONAMIENTO DE SUELOS DE DISMINUIDA CAPACIDAD PORTANTE EN OBRAS VIALES - 2022**, para optar el Título de Ingeniero Civil los Bachilleres **GEAN PIERO SOTO VENTURA** y **GENARO BRYAN SOTO VENTURA** de la carrera profesional de Ingeniería Civil, de la Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura.

Finalizado el acto de sustentación Presencial de tesis, se procedió a deliberar la calificación, obteniendo luego el resultado siguiente:

APELLIDOS Y NOMBRES	DICTAMEN	NOTA	CALIFICATIVO
SOTO VENTURA GEAN PIERO	APROBADO	14	BUENO
SOTO VENTURA GENARO BRYAN	APROBADO	14	BUENO

Dándose por finalizado dicho acto a las: 12.20 del mismo día 15/12/2022 con lo que se dio por concluido, y en fe de lo cual firmamos.

OBSERVACIONES:


VICTOR MANUEL GOICOCHEA VARGAS
 PRESIDENTE


JIM ARTURO RIVERA VIDAL
 SECRETARIO


LUIS FERNANDO NARRO JARA
 VOCAL

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DIGITAL Y DECLARACIÓN JURADA DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PARA OPTAR UN GRADO ACADÉMICO O TÍTULO PROFESIONAL

1. Autorización de Publicación: (Marque con una "X")

Pregrado	<input checked="" type="checkbox"/>	Segunda Especialidad		Posgrado:	Maestría		Doctorado	
----------	-------------------------------------	----------------------	--	-----------	----------	--	-----------	--

Pregrado (tal y como está registrado en **SUNEDU**)

Facultad	INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA
Escuela Profesional	INGENIERIA CIVIL
Carrera Profesional	INGENIERIA CIVIL
Grado que otorga	-----
Título que otorga	INGENIERO CIVIL

Segunda especialidad (tal y como está registrado en **SUNEDU**)

Facultad	-----
Nombre del programa	-----
Título que Otorga	-----

Posgrado (tal y como está registrado en **SUNEDU**)

Nombre del Programa de estudio	-----
Grado que otorga	-----

2. Datos del Autor(es): (Ingrese todos los **datos** requeridos **completos**)

Apellidos y Nombres:	SOTO VENTURA, GENARO BRYAN							
Tipo de Documento:	DNI	<input checked="" type="checkbox"/>	Pasaporte		C.E.		Nro. de Celular:	933276694
Nro. de Documento:	73830340					Correo Electrónico:	brysove93@hotmail.com	

Apellidos y Nombres:	SOTO VENTURA, GEAN PIERO							
Tipo de Documento:	DNI	<input checked="" type="checkbox"/>	Pasaporte		C.E.		Nro. de Celular:	962 276 917
Nro. de Documento:	72320066					Correo Electrónico:	geanpiero97@hotmail.com	

Apellidos y Nombres:								
Tipo de Documento:	DNI		Pasaporte		C.E.		Nro. de Celular:	
Nro. de Documento:						Correo Electrónico:		

3. Datos del Asesor: (Ingrese todos los **datos** requeridos **completos** según **DNI**, no es necesario indicar el Grado Académico del Asesor)

¿El Trabajo de Investigación cuenta con un Asesor?: (marque con una "X" en el recuadro del costado, según corresponda)	SI	<input checked="" type="checkbox"/>	NO	
Apellidos y Nombres:	ALCEDO DIAZ, CHARLES JIAMMY			
	ORCID ID:	https://orcid.org/0000-0002-1973-5424		
Tipo de Documento:	DNI	<input checked="" type="checkbox"/>	Pasaporte	
	C.E.		Nro. de documento:	40033614

4. Datos del Jurado calificador: (Ingrese solamente los **Apellidos y Nombres** completos según **DNI**, no es necesario indicar el Grado Académico del Jurado)

Presidente:	GOICOCHEA VARGAS, VICTOR MANUEL
Secretario:	RIVERA VIDAL, JIM ARTURO
Vocal:	NARRO JARA, LUIS FERNANDO
Vocal:	-----
Vocal:	-----
Accesitario	SUAREZ LANDAURO, REYNALDO

5. Declaración Jurada: (Ingrese todos los **datos** requeridos **completos**)

a) Soy Autor (a) (es) del Trabajo de Investigación Titulado: (Ingrese el título tal y como está registrado en el Acta de Sustentación)
REPRESENTACIÓN DEL MÉTODO PARA EMPLEO DEL RELLENO FLUIDO SUELO-CEMENTO EN PERFECCIONAMIENTO DE SUELOS DE DISMINUIDA CAPACIDAD PORTANTE EN OBRAS VIALES – 2022
b) El Trabajo de Investigación fue sustentado para optar el Grado Académico ó Título Profesional de: (tal y como está registrado en SUNEDU)
TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL
c) El Trabajo de investigación no contiene plagio (ninguna frase completa o párrafo del documento corresponde a otro autor sin haber sido citado previamente), ni total ni parcial, para lo cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencias.
d) El trabajo de investigación presentado no atenta contra derechos de terceros.
e) El trabajo de investigación no ha sido publicado, ni presentado anteriormente para obtener algún Grado Académico o Título profesional.
f) Los datos presentados en los resultados (tablas, gráficos, textos) no han sido falsificados, ni presentados sin citar la fuente.
g) Los archivos digitales que entrego contienen la versión final del documento sustentado y aprobado por el jurado.
h) Por lo expuesto, mediante la presente asumo frente a la Universidad Nacional Hermilio Valdizan (en adelante LA UNIVERSIDAD), cualquier responsabilidad que pudiera derivarse por la autoría, originalidad y veracidad del contenido del Trabajo de Investigación, así como por los derechos de la obra y/o invención presentada. En consecuencia, me hago responsable frente a LA UNIVERSIDAD y frente a terceros de cualquier daño que pudiera ocasionar a LA UNIVERSIDAD o a terceros, por el incumplimiento de lo declarado o que pudiera encontrar causas en la tesis presentada, asumiendo todas las cargas pecuniarias que pudieran derivarse de ello. Asimismo, por la presente me comprometo a asumir además todas las cargas pecuniarias que pudieran derivarse para LA UNIVERSIDAD en favor de terceros con motivo de acciones, reclamaciones o conflictos derivados del incumplimiento de lo declarado o las que encontraren causa en el contenido del trabajo de investigación. De identificarse fraude, piratería, plagio, falsificación o que el trabajo haya sido publicado anteriormente; asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a la normatividad vigente de la Universidad Nacional Hermilio Valdizan.

6. Datos del Documento Digital a Publicar: (Ingrese todos los **datos** requeridos **completos**)

Ingrese solo el año en el que sustentó su Trabajo de Investigación: (Verifique la Información en el Acta de Sustentación)			2022			
Modalidad de obtención del Grado Académico o Título Profesional: (Marque con X según Ley Universitaria con la que inició sus estudios)	Tesis	<input checked="" type="checkbox"/>	Tesis Formato Artículo	<input type="checkbox"/>	Tesis Formato Patente de Invención	<input type="checkbox"/>
	Trabajo de Investigación	<input type="checkbox"/>	Trabajo de Suficiencia Profesional	<input type="checkbox"/>	Tesis Formato Libro, revisado por Pares Externos	<input type="checkbox"/>
	Trabajo Académico	<input type="checkbox"/>	Otros (especifique modalidad)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Palabras Clave: (solo se requieren 3 palabras)	REPRESENTACIÓN	EMPLEO	PERFECCIONAMIENTO	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Tipo de Acceso: (Marque con X según corresponda)	Acceso Abierto	<input checked="" type="checkbox"/>	Condición Cerrada (*)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Con Periodo de Embargo (*)	<input type="checkbox"/>	Fecha de Fin de Embargo:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
¿El Trabajo de Investigación, fue realizado en el marco de una Agencia Patrocinadora? (ya sea por financiamientos de proyectos, esquema financiero, beca, subvención u otras; marcar con una "X" en el recuadro del costado según corresponda):				SI	NO	<input checked="" type="checkbox"/>
Información de la Agencia Patrocinadora:						

El trabajo de investigación en digital y físico tienen los mismos registros del presente documento como son: Denominación del programa Académico, Denominación del Grado Académico o Título profesional, Nombres y Apellidos del autor, Asesor y Jurado calificador tal y como figura en el Documento de Identidad, Titulo completo del Trabajo de Investigación y Modalidad de Obtención del Grado Académico o Título Profesional según la Ley Universitaria con la que se inició los estudios.

7. Autorización de Publicación Digital:

A través de la presente. Autorizo de manera gratuita a la Universidad Nacional Hermilio Valdizán a publicar la versión electrónica de este Trabajo de Investigación en su Biblioteca Virtual, Portal Web, Repositorio Institucional y Base de Datos académica, por plazo indefinido, consintiendo que con dicha autorización cualquier tercero podrá acceder a dichas páginas de manera gratuita pudiendo revisarla, imprimirla o grabarla siempre y cuando se respete la autoría y sea citada correctamente. Se autoriza cambiar el contenido de forma, más no de fondo, para propósitos de estandarización de formatos, como también establecer los metadatos correspondientes.

 Firma:		
Apellidos y Nombres:	SOTO VENTURA, GENARO BRYAN	Huella Digital
DNI:	73830340	
 Firma:		
Apellidos y Nombres:	SOTO VENTURA, GEAN PIERO	Huella Digital
DNI:	72320066	
Firma:		
Apellidos y Nombres:		Huella Digital
DNI:		
Fecha: 19/12/2022		