



UNIVERSIDAD ANDINA
NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL
MENCIÓN: GEOTECNIA Y TRANSPORTES



**EFICACIA DE LA ESTABILIDAD DEL TALUD
DE UN RELLENO SANITARIO EN LA
CIUDAD DE JULIACA, 2023**

TESIS PRESENTADA POR:
HENRY AMILCAR CUBA ENRIQUEZ

**PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE
MAESTRO EN INGENIERÍA CIVIL
MENCIÓN: GEOTECNIA Y TRANSPORTES**

JULIACA – PERÚ
2024



UNIVERSIDAD ANDINA
NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL
MENCIÓN: GEOTECNIA Y TRANSPORTES
EFICACIA DE LA ESTABILIDAD DEL TALUD
DE UN RELLENO SANITARIO EN LA
CIUDAD DE JULIACA, 2023

TESIS PRESENTADA POR:
HENRY AMILCAR CUBA ENRIQUEZ
PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:
MAESTRO EN INGENIERÍA CIVIL
MENCIÓN: GEOTECNIA Y TRANSPORTES

APROBADA POR:

PRESIDENTE DEL JURADO :



Dr. MILTON QUISPE HUANCA

MIEMBRO DEL JURADO :



Dr. LEONEL SUASACA PELINCO

MIEMBRO DEL JURADO :



Dr. EFRAIN PARILLO SOSA

ASESOR DE TESIS :



Dr. ARNALDO YANA TORRES

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN :

TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – P50



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ" ESCUELA DE POSGRADO



RESOLUCIÓN DIRECTORAL N° 405-2024-D-EPG-UANCV//I

Juliaca, 4 de noviembre del 2024

VISTOS:

El expediente N° 2024-010991 presentado por el (a) Bachiller, HENRY AMILCAR CUBA ENRIQUEZ, quien solicita nominación de Jurados y Fecha y hora de sustentación de tesis, de la Escuela de Posgrado de la Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez".

CONSIDERANDO:

Que, el (a) Bachiller, HENRY AMILCAR CUBA ENRIQUEZ, con número de DNI. 47244523 y con número de matrícula 1610100370, ha solicitado asignación de Jurados, Fecha y hora de sustentación de la tesis titulado: EFICACIA DE LA ESTABILIDAD DEL TALUD DE UN RELLENO SANITARIO EN LA CIUDAD DE JULIACA, 2023, para optar el GRADO de MAESTRO EN INGENIERÍA CIVIL Mención: GEOTECNIA Y TRANSPORTES de la Escuela de Posgrado de la Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez;

Que, de conformidad con lo previsto en el artículo 18° del Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, COMITÉ DE INVESTIGACIÓN;

Que, mediante Resolución N° 691-2024-USA-EPG/UANCV SE APRUEBA Y AUTORIZA LA EJECUCION DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACION y con Resolución N° 1134-2024-USA-EPG/UANCV, se APRUEBA y AUTORIZA EL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (BORRADOR DE TESIS) titulado: EFICACIA DE LA ESTABILIDAD DEL TALUD DE UN RELLENO SANITARIO EN LA CIUDAD DE JULIACA, 2023 La misma que pertenece a la Línea de Investigación: TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN - P50;

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos en su artículo 28° DE LA SUSTENTACIÓN.

Y estando, la opinión favorable del Director de la Unidad de Investigación y el Director de la Escuela de Posgrado mediante acta de sorteo de jurado, con registro N° 00021 de fecha 30 de octubre del 2024 se nomina Jurados.

Que, conforme al artículo 66° del Reglamento General de la Escuela de Posgrado de la UANCV, establece que la Tesis de Posgrado es un trabajo de investigación científica original de actualidad y de alto valor científico;

En uso de las atribuciones conferidas a la Dirección en el inciso "J" del artículo 17° del Reglamento General de la Escuela de Posgrado, y el artículo 76° del Estatuto Universitario;

SE RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO. - DECLARAR APTO para la sustentación presencial del informe final de la investigación (BORRADOR DE TESIS), del (la) Bach: HENRY AMILCAR CUBA ENRIQUEZ, para optar el GRADO de MAESTRO EN INGENIERÍA CIVIL, Mención: GEOTECNIA Y TRANSPORTES, en virtud de los considerandos expuestos.

ARTÍCULO SEGUNDO. - NOMINAR JURADOS para la sustentación presencial y defensa de la tesis a los siguientes docentes ordinarios:

Presidente	: Dr. MILTHON QUISPE HUANCA
Primer miembro	: Dr. LEONEL SUASACA PELINCO
Segundo miembro	: Dr. EFRAIN PARILLO SOSA
Asesor	: Dr. ARNALDO YANA TORRES

ARTÍCULO TERCERO. - PROGRAMAR FECHA Y HORA de sustentación como se detalla:

Fecha	: Viernes 08 de noviembre del 2024
Hora	: 11:00 a.m.
Lugar	: Aula N° 310 EPG-UANCV-JULIACA

ARTÍCULO CUARTO. - el Director de la Escuela de Posgrado queda encargado del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, comuníquese y Archívese.



RESOLUCIÓN DIRECTORAL N° 01134-2024-USA-EPG/UANCV

Juliaca, 14 de Agosto de 2024

VISTOS:

El Expediente N° 2024-09672 de fecha 07 de Agosto de 2024, el (la) Bach. HENRY AMILCAR CUBA ENRIQUEZ, con DNI N° 47244523, código de matrícula N° 1610100370, quien solicita Revisión de Informe Final de la Investigación (borrador de Tesis); INFORME N° 00288-2024-UI-EPG-UANCV y el Anexo (04 o 05) "Ficha de Opinión del Informe Final de la Investigación (borrador de Tesis)" del 10 de Agosto de 2024, que fue revisada por el Comité de Investigación de la Escuela de Posgrado.

CONSIDERANDO:

Que, las Unidades de Investigación son unidades académicas que agrupan a docentes y estudiantes de diversas disciplinas, en razón del desarrollo de investigación científica, tecnológica y humanista de acuerdo al Estatuto Universitario Modificado 2020 de nuestra primera Casa Superior de Estudios.

Que, con Expediente N° 2024-09672 el (la) Bach. HENRY AMILCAR CUBA ENRIQUEZ, solicita la revisión y aprobación del Informe Final de la Investigación (borrador de Tesis) titulado: EFICACIA DE LA ESTABILIDAD DEL TALUD DE UN RELLENO SANITARIO EN LA CIUDAD DE JULIACA, 2023 Línea de Investigación TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN - P50, para optar el GRADO de MAESTRO EN INGENIERÍA CIVIL con mención en: GEOTECNIA Y TRANSPORTES.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos plasmado en la Resolución N° 0294-2023-UANCV-CU-R.

Que, el Comité de Investigación emitió su opinión FAVORABLE al Informe Final de la Investigación (borrador de Tesis).

Que, el Director de la Unidad de Investigación de la Escuela de Posgrado, corroboró el asesoramiento en el Informe Final de la Investigación (borrador de Tesis) del ASESOR Mgtr. ARNALDO YANA TORRES, y,

Estando, la opinión favorable del Comité de Investigación, según INFORME N° 00288-2024-UI-EPG-UANCV y el Anexo (04 o 05) "Ficha de Opinión del Informe Final de la Investigación (borrador de Tesis)" en concordancia con el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos Resolución N° 0294-2023-UANCV-CU-R, de conformidad a lo que establece la Ley Universitaria N° 30220, Ley de Creación de la UANCV N° 23738 y Modificatoria N° 24661 y el Estatuto de la UANCV, que confiere facultades a la unidad de Investigación de la Escuela de Posgrado.

SE RESUELVE:

ARTICULO PRIMERO.- APROBAR Y AUTORIZAR EL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (BORRADOR DE TESIS) para la REVISIÓN DE SIMILITUD TURNITIN, titulado: EFICACIA DE LA ESTABILIDAD DEL TALUD DE UN RELLENO SANITARIO EN LA CIUDAD DE JULIACA, 2023 presentado por el (la) Bach. HENRY AMILCAR CUBA ENRIQUEZ, en virtud de los considerandos expuestos.

ARTICULO SEGUNDO.- RATIFICAR, como ASESOR al (a) Mgtr. ARNALDO YANA TORRES.

ARTICULO TERCERO. - DISPONER que la Escuela de Posgrado, la Secretaría Académica y administrativa, quedan encargados del cumplimiento de la presente resolución.

Regístrese, comuníquese y archívese.



OFICINA DE INVESTIGACIÓN
ESCUELA DE POSGRADO

Dr. Leopoldo Flores-Corral Carr
DIRECTOR (e)



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ" ESCUELA DE POSGRADO



RESOLUCIÓN DIRECTORAL N° 0691-2024-USA-EPG/UANCV

Juliaca, 21 de junio de 2024

VISTOS:

El Expediente N° 2024-07043 de fecha 06 de junio de 2024, el (la) Bach. HENRY AMILCAR CUBA ENRIQUEZ, con DNI N° 47244523, código de matrícula N° 1610100370, quien solicita Revisión de propuesta de Investigación; INFORME N° 0075-2024-UI-EPG-UANCV y el Anexo (02 o 03) "Ficha de Opinión de la Propuesta de Investigación" del 21 de junio de 2024, que fue revisada por el Comité de Investigación de la Escuela de Posgrado.

CONSIDERANDO:

Que, las Unidades de Investigación son unidades académicas que agrupan a docentes y estudiantes de diversas disciplinas, en razón del desarrollo de investigación científica, tecnológica y humanista de acuerdo al Estatuto Universitario Modificado 2020 de nuestra primera Casa Superior de Estudios.

Que, con Expediente N° 2024-07043 el (la) Bach. HENRY AMILCAR CUBA ENRIQUEZ, solicita la revisión y aprobación de la propuesta de Investigación titulado: **EFICACIA DE LA ESTABILIDAD DEL TALUD DE UN RELLENO SANITARIO EN LA CIUDAD DE JULIACA, 2023** Línea de investigación **TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN - P50**, para optar el **GRADO de MAESTRO EN INGENIERÍA CIVIL** con mención en: **GEOTÉCNIA Y TRANSPORTES**.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos plasmado en la Resolución N° 0294-2023-UANCV-CU-R,

Que, el Comité de Investigación emitió su opinión **FAVORABLE** a la propuesta de investigación.

Que, el Director de la Unidad de Investigación de la Escuela de Posgrado, corroboró la propuesta del **ASESOR Mgtr. ARNALDO YANA TORRES**, quien debe estar acreditado y facultado para orientar y ayudar al asesorado en el proceso de elaboración del trabajo de investigación (Tesis) de acuerdo a la **DIRECTIVA N° 004-2019-UANCV-VRAD-OI** y,

Estando, la opinión favorable del Comité de Investigación, según **INFORME N° 0075-2024-UI-EPG-UANCV** y el Anexo (02 o 03) "Ficha de Opinión de la Propuesta de Investigación" en concordancia con el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos Resolución N° 0294-2023-UANCV-CU-R, de conformidad a lo que establece la Ley Universitaria N° 30220, Ley de Creación de la UANCV N° 23738 y Modificatoria N° 24661 y el Estatuto de la UANCV, que confiere facultades a la unidad de Investigación de la Escuela de Posgrado.

SE RESUELVE:

ARTICULO PRIMERO.- APROBAR Y AUTORIZAR LA EJECUCIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN, titulado: EFICACIA DE LA ESTABILIDAD DEL TALUD DE UN RELLENO SANITARIO EN LA CIUDAD DE JULIACA, 2023 presentado por el (la) Bach. HENRY AMILCAR CUBA ENRIQUEZ, en virtud de los considerandos expuestos.

ARTICULO SEGUNDO.- RECONOCER, como ASESOR al Mgtr. ARNALDO YANA TORRES.

ARTICULO TERCERO. - DISPONER que la Escuela de Posgrado, la Secretaría Académica y administrativa, quedan encargados del cumplimiento de la presente resolución.

Regístrese, comuníquese y archívese.



UNIVERSIDAD ANDINA
"NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
ESCUELA DE POSGRADO
D^o Leopoldo Wainerstein Córdova
DIRECTOR (e)



EFICACIA DE LA ESTABILIDAD DEL TALUD DE UN RELLENO SANITARIO EN LA CIUDAD DE JULIACA, 2023

INFORME DE ORIGINALIDAD

17%

INDICE DE SIMILITUD

15%

FUENTES DE INTERNET

7%

PUBLICACIONES

6%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez	2%
	Trabajo del estudiante	

2	repositorio.unap.edu.pe	2%
	Fuente de Internet	

3	cybertesis.ubiobio.cl	2%
	Fuente de Internet	

4	<p>CONSORCIO RECUPERACION ANDAHUAYLAS. "Plan de Recuperación de Área Degradada por Residuos Sólidos Municipales, como Instrumento de Gestión Ambiental Complementario del Proyecto Recuperación del Área Degradada por Residuos Sólidos Cerro San José, Distrito de San Jerónimo, Provincia de Andahuaylas, Departamento de Apurímac-IGA0020048", R.G. N° 0237-2021-GM-MPA, 2022</p>	1%
	Publicación	

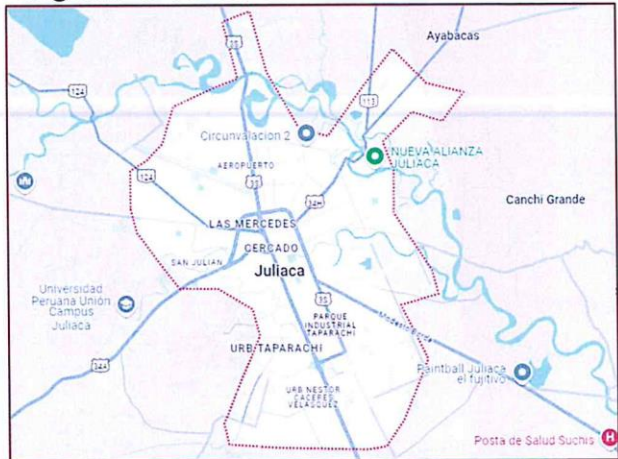
5	Submitted to Universidad Católica San Pablo	
	Trabajo del estudiante	



Metadatos Complementarios

Título de la tesis	
EFICACIA DE LA ESTABILIDAD DEL TALUD DE UN RELLENO SANITARIO EN LA CIUDAD DE JULIACA, 2023	
Datos de autor	
Nombres y apellidos	HENRY AMILCAR CUBA ENRIQUEZ
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	47244523
URL de ORCID	https://orcid.org/0009-0003-7335-8935
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	ARNALDO YANA TORRES
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	41414676
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0002-6740-5024
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	MILTHON QUISPE HUANCA
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	02424528
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	LEONEL SUASACA PELINCO
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	40865558
Miembro del jurado 2	
Nombres y apellidos	EFRAIN PARILLO SOSA
Tipo de documento	DNI



Número de documento de identidad	02416058
Datos de investigación	
Línea de investigación	Tecnología de la construcción – P50
Grupo de investigación	No aplica.
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento
Ubicación geográfica de la investigación	<p>País: Perú Departamento: Puno Provincia: San Román Distrito: Juliaca Latitud: S 15° 29' 27" Longitud: O 70° 07' 37"</p>  <p>https://maps.app.goo.gl/PAEvstH2rCu8SneP6</p>
Año o rango de años en que se realizó la investigación	Junio 2024 – Noviembre 2024
URL de disciplinas OCDE - Librería	<p>Ingeniería Civil https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.00</p> <p>Ingeniería de la construcción https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.03</p>



UNIVERSIDAD ANDRÉS BELLEROS GARCÍA
ESCUELA DE POSTGRADO

Dr. Jesús Mamani Mamani
DIRECTOR
DE INVESTIGACION - EPG

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD

Yo HENRY AMILCAR CUBA ENRIQUEZ, identificado con DNI
Nro. 47244523, en mi condición de egresado de:

- Escuela Profesional
 Programa de Segunda Especialidad,
 Programa de Maestría o Doctorado

INGENIERÍA CIVIL MENCIÓN: GEOTECNIA Y TRANSPORTES,

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación, Trabajo Académico
denominada:

EFICACIA DE LA ESTABILIDAD DEL TALUD DE UN RELLENO SANITARIO EN LA
CIUDAD DE JULIACA, 2023

Asesorado por: Dr. ARNALDO YANA TORRES

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

El incumplimiento de lo declarado da lugar a responsabilidad del declarante, en consecuencia; a través del presente documento asumo frente a terceros, la Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez y/o la Administración Pública toda responsabilidad que pueda derivarse por el trabajo final presentado. Lo señalado incluye responsabilidad pecuniaria incluido el pago de multas u otros por los daños y perjuicios que se ocasionen.

Juliaca 30 de octubre del 2025



Firma del Asesor
(obligatoria)



Firma del Estudiante
(obligatoria)



Huella



DEDICATORIA

Expreso mi gratitud a Dios por la concesión de padres dedicados que han trabajado arduamente para hacer posible la realización de mi sueño. Agradezco por su apoyo y por fortalecer mi fe en nuestro creador.



AGRADECIMIENTO

Agradezco a los educadores que desempeñaron un papel fundamental en la formación de mi trayectoria académica en la universidad.



ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA..... i

AGRADECIMIENTO..... ii

ÍNDICE GENERAL..... iii

ÍNDICE DE TABLAS..... vii

ÍNDICE DE FIGURAS..... viii

RESUMEN..... x

ABSTRACT..... xi

INTRODUCCIÓN..... xii

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Análisis de la situación problemática..... 13

1.2 Planteamiento del problema..... 14

 1.2.1 Problema general..... 14

 1.2.2 Problemas específicos..... 14

1.3 Justificación de la investigación..... 15

 1.3.1 Justificación técnica..... 15

 1.3.2 Justificación económica..... 16

 1.3.3 Justificación social..... 17

 1.3.4 Justificación ambiental..... 19

1.4 Objetivos..... 20

 1.4.1 Objetivo general..... 20

 1.4.2 Objetivos específicos..... 21

1.5 Importancia y alcance de la investigación..... 21

1.6 Limitaciones y delimitaciones de la investigación..... 22

1.7 Hipótesis..... 24

 1.7.1 Hipótesis general..... 24

 1.7.2 Hipótesis específicas..... 24

1.8 Variables..... 24

 1.8.1 Variable independiente..... 24

 1.8.2 Variable dependiente..... 24

1.9 Operacionalización de variables..... 25

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación..... 26



2.1.1	Antecedentes internacionales	26
2.1.2	Antecedente nacional.....	33
2.1.3	Antecedente local	37
2.2	Bases teóricas.....	42
2.2.1	Estabilización de taludes.....	42
2.2.2	Rellenos sanitarios.....	43
2.2.3	Propiedades de los rellenos sanitarios urbanos	44
2.2.3.1	Composición porcentual.....	45
2.2.3.2	Humedad	45
2.2.3.3	Densidad.....	46
2.2.4	Caracterización de talud en rellenos sanitarios	47
2.2.4.1	Caracterización geométrica del talud	47
2.2.5	Estabilización de taludes en rellenos sanitarios	48
2.2.6	Propiedades mecánicas en los rellenos sanitarios	49
2.2.7	Análisis de comprensibilidad	51
2.2.8	Resistencia al corte.....	51
2.2.8.1	Determinación de parámetros resistentes	55
2.2.8.2	Criterios de rotura para rellenos sanitarios.....	59
2.2.9	Propuesta metodológica de diseño	64
2.2.9.1	Factores relevantes para el diseño de taludes	64
2.2.9.2	Supuestos adoptados para el análisis de estabilidad	65
2.2.10	Criterios de diseño	67
2.2.11	Deducción y parámetros geotécnicos.....	69
2.2.12	Residuos solidos.....	70
2.2.13	Clasificación de los residuos solidos	70
2.2.13.1	Clasificación de residuos por su origen	70
2.2.13.2	Clasificación de residuos por su composición	71
2.2.14	Diagnóstico del manejo de residuos solidos.....	71
2.2.15	Relleno sanitario	72
2.2.16	Componentes de un relleno sanitario.....	72
2.2.16.1	Cimentación y revestimientos	73
2.2.16.2	Recolección de lixiviado, remoción y tratamiento	77
2.2.16.3	Control de gases de relleno sanitario	78
2.2.16.4	Cierre de relleno sanitario	80
2.2.17	Metodos de diseño de relleno sanitario.....	81
2.2.17.1	Metodo de trinchera	81
2.2.18	Diseño de celda diaria.....	83



2.2.19 Talud	84
2.2.20 Diseño del sistema de drenaje pluvial	84
2.2.21 Diseño vertical para gases	85
2.2.22 Relleno sanitario manual	86
2.2.22.1 Diseño de un relleno sanitario	87
2.2.22.2 Procedimientos previos a la construcción de un relleno sanitario	88
2.2.22.3 Ventajas	90
2.2.22.4 Desventajas	91
2.2.23 Dimensionamiento del relleno sanitario manual	91
2.2.23.1 Producción per capita	91
2.2.23.2 Producción total	91
2.2.23.3 Proyección de la población total	91
2.2.23.4 Volumen de residuos solidos	92
2.2.23.5 Material para cobertura	92
2.2.23.6 Cálculo del área requerida	92
2.2.24 El suelo	93
2.2.25 Clasificación granular de los suelos	95
2.2.25.1 Suelos granulares	95
2.2.25.2 Suelos cohesivos	95
2.2.25.3 Suelos orgánicos	96
2.2.26 Características que presentan los suelos	96
2.2.26.1 Granulometría en suelos	96
2.2.26.2 Propiedades del suelo	99
2.2.27 Métodos para determinar la capacidad de carga de los suelos	101
2.2.27.1 Pruebas de penetración estándar – SPT	101
2.2.27.2 Pruebas de penetración de cono – CPT	102
2.2.27.3 Pruebas de placa de carga	102
2.2.27.4 Métodos empíricos, analíticos y tablas de capacidad de carga	102
2.3 Marco conceptual	103

CAPITULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 Enfoque de investigación	105
3.2 Método de investigación	105
3.3 Tipo de investigación	106
3.4 Nivel de Investigación	106
3.5 Diseño de investigación	107
3.6 Población y muestra	107



3.6.1	Población	107
3.6.2	Muestras	107
3.7	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	107
3.7.1	Técnicas	107
3.7.2	Instrumentos	108
3.8	Validación y de instrumentos y confiabilidad	109
3.8.1	Validación de instrumentos	109
3.8.2	Confiabilidad de instrumentos	109
CAPITULO IV		
ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS		
4.1	Resultados obtenidos:	110
4.1.1	Factores internos determinantes que intervienen en la estabilidad del talud un relleno sanitario.....	114
4.1.2	Factores externos determinantes que intervienen en la estabilidad del talud de un relleno sanitario.....	120
4.1.3	Propuesta para mejorar la estabilidad del talud de un relleno sanitario..	126
4.2	Discusión de resultados	136
CONCLUSIONES		139
RECOMENDACIONES		140
REFERENCIAS		141
ANEXOS		145



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Operacionalización de variables	25
Tabla 2 Contenido de Humedad W %	97
Tabla 3 Densidad y humedad promedio	114
Tabla 4 Densidad y humedad promedio de depósito aluvial	114
Tabla 5 Datos para analisis de esfuerzo cortante en residuos solidos	118
Tabla 6 Parámetros para la modelación es la estabilidad actual	119
Tabla 7 Factores internos	119
Tabla 8 Precipitación maxima para diferente tiempo de retorno	123
Tabla 9 Grado de compactación de la subrasante +15% de ceniza de carbón	124
Tabla 10 Resumen de factor de seguridad	126
Tabla 11 Resumen de factor de seguridad	133
Tabla 12 Parámetros de diseño con cobertura final	135
Tabla 13 Factores de seguridad en condiciones extremas en construcción	138



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Residuos solidos urbanos 52

Figura 2 Curva de residuos sólidos urbanos 53

Figura 3 Parámetros de solidos 54

Figura 4 Rangos sólidos urbanos..... 59

Figura 5 Criterios de estabilidad..... 61

Figura 6 Criterios de estabilidad 2..... 62

Figura 7 Criterios de estabilidad 3..... 63

Figura 8 Componentes de relleno sanitario 72

Figura 9 Revestimientos 73

Figura 10 Metodo trinchera 82

Figura 11 Curva granulométrica Curva granulométrica de un suelo a través de la técnica de análisis granulométrico por tamizado 98

Figura 12 Coeficientes que se evidencian en la curva granulométrica. 98

Figura 13 Análisis e interpretación de la curva granulométrica..... 98

Figura 14 Diagramación para calcular la resistencia al corte..... 100

Figura 15 Localización de los perfiles estratigráficos..... 110

Figura 16 Perfil estratigráfico A-A..... 111

Figura 17 Perfil estratigráfico B-B..... 112

Figura 18 Perfil estratigráfico C-C 113

Figura 19 Valores típicos para residuos solidos 117

Figura 20 Norma diseño sismo resistente E.030 120

Figura 21 Perfil de estabilidad 122

Figura 22 Perfil en condiciones estáticas 123

Figura 23 Perfil en condiciones pseudoestáticas..... 124

Figura 24 Perfil en condiciones estáticas 125

Figura 25 Perfil en condiciones pseudoestáticas..... 125

Figura 26 Perfiles de estabilidad 127

Figura 27 Perfil 1 en condiciones estáticas 128

Figura 28 Perfil 1 en condiciones pseudoestáticas..... 128

Figura 29 Perfil 2 en condiciones estáticas 129



Figura 30 Perfil 2 en condiciones pseudoestáticas.....	129
Figura 31 Perfil 3 en condiciones estáticas	130
Figura 32 Perfil 3 en condiciones pseudoestáticas.....	130
Figura 33 Perfil 4 en condiciones estáticas	131
Figura 34 Perfil 4 en condiciones pseudoestáticas.....	131
Figura 35 Perfil 5 en condiciones estáticas	132
Figura 36 Perfil 5 en condiciones pseudoestáticas.....	132
Figura 37 Tipos de cobertura propuestas.....	133
Figura 38 Cobertura final de domo principal.....	134
Figura 39 Cobertura final de talud y banquetas.....	134
Figura 40 Efecto dinámica de la carga viva de vehículos	136
Figura 41 Perfil 3 en condiciones estáticas	137
Figura 42 Perfil 3 en condiciones pseudoestáticas.....	137



RESUMEN

Para superar las dificultades relacionadas con el proceso de selección de ubicaciones adecuadas para la construcción de vertederos para el tratamiento de residuos sólidos urbanos, actualmente se están desarrollando vertederos de gran altura como solución. Este tipo de vertederos suelen tener un trazado caracterizado por terrazas y taludes, lo que les permite aumentar tanto su capacidad como su vida útil. En este entorno particular, el objeto del estudio que nos ocupa es proponer una técnica particular para el diseño de la estabilidad de taludes en este tipo de infraestructuras. La viabilidad de esta metodología se garantizará asegurando su vinculación con las particularidades y condiciones imperantes en el país. Con el fin de alcanzar este objetivo, se lleva a cabo un examen exhaustivo de la información disponible en la actualidad a partir de las investigaciones realizadas a escala nacional e internacional que son pertinentes para el tema que nos ocupa. Con base en los resultados de esta investigación, se ha determinado que es posible crear una metodología para evaluar la estabilidad que se fundamente en principios geotécnicos y haga uso del criterio de ruptura de Mohr-Coulomb. Por otro lado, se ha determinado que el obstáculo más importante es la identificación precisa de los parámetros relativos a la resistencia. Teniendo esto en cuenta, se recomienda la realización de pruebas particulares para determinar la resistencia al corte de cada uno de los rellenos que se van a investigar. El objetivo de estas pruebas es recopilar datos puntuales y detallados que permitan una evaluación precisa de los rellenos.

PALABRAS CLAVE: Eficacia, estabilidad de talud, relleno sanitario.



ABSTRACT

To overcome the difficulties related to the process of selecting suitable locations for the construction of landfills for the treatment of municipal solid waste, high-rise landfills are currently being developed as a solution. These types of landfills usually have a layout characterized by terraces and slopes, which allows them to increase both their capacity and service life. In this particular environment, the object of the present study is to propose a particular technique for the design of slope stability in this type of infrastructure. The feasibility of this methodology will be guaranteed by ensuring its linkage with the particularities and conditions prevailing in the country. In order to achieve this objective, an exhaustive review of the information currently available from national and international research relevant to the subject at hand is carried out. Based on the results of this research, it has been determined that it is possible to create a methodology to evaluate stability that is based on geotechnical principles and makes use of the Mohr-Coulomb rupture criterion. On the other hand, it has been determined that the most important obstacle is the accurate identification of the strength parameters. With this in mind, it is recommended that particular tests be carried out to determine the shear strength of each of the fillers to be investigated. The objective of these tests is to collect timely and detailed data that will allow for an accurate evaluation of the fills.

KEY WORDS: Efficiency, slope stability, sanitary landfill.



INTRODUCCIÓN

Se empleó para procesar los datos y determinar las unidades de muestreo de la red urbana, este problema se ha convertido en una cuestión de gran importancia en la actualidad. Como resultado del proceso de búsqueda de opciones para la eliminación adecuada de esta basura, la técnica del vertedero (RS) ha surgido como la opción más adecuada. Esta técnica se distingue por la utilización de celdas de vertido, que sirven como unidades prácticamente aisladas del entorno que las rodea, reduciendo así la cantidad de contactos que los individuos tienen con el medio ambiente. Además, el vertedero ofrece soluciones tecnológicas y económicas adaptadas al nivel de desarrollo de cada país. En la actualidad, el reto de localizar ubicaciones adecuadas para el desarrollo de vertederos se está abordando mediante la introducción de vertederos de gran altura y diseños que maximizan la utilización de la superficie disponible. Estos vertederos tienen una capacidad que aumenta en proporción a la altura de sus taludes y a la pendiente de sus laderas individualmente. Esto se debe a que el desconocimiento de las características mecánicas y de cómo han cambiado con el tiempo ha sido la causa principal de un número considerable de accidentes. En el contexto de este tipo de estudio, los residuos sanitarios urbanos se considerarán como un suelo que posee sus propias cualidades y características. Debido a la variedad de estos materiales, su determinación es una tarea difícil. La razón es que estos materiales presentan cualidades anisótropas y pueden sufrir degradación biológica con el tiempo, lo que puede alterar sus propiedades geotécnicas. Este proyecto de fin de carrera tiene como objetivo principal ofrecer una técnica para los planteamientos de diseño de estabilidad de taludes utilizados en vertederos. En el contexto de este escenario concreto, el concepto de estabilidad se evaluará únicamente en relación con las características de estabilidad mecánica del material de desecho.



CAPÍTULO I

EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Análisis de la situación problemática.

La estabilización de taludes en rellenos sanitarios es un desafío multifacético que involucra consideraciones geotécnicas, ambientales y de ingeniería civil. Uno de los principales problemas radica en la heterogeneidad del material de relleno, que incluye una mezcla de residuos sólidos urbanos con propiedades físicas y químicas variables. Esta variabilidad dificulta la predicción del comportamiento mecánico del talud bajo diferentes condiciones de carga y exposición a agentes climáticos, como lluvias intensas o sequías prolongadas.

Además, los taludes de rellenos sanitarios están sujetos a procesos de asentamiento diferenciado y generación de lixiviados, que pueden debilitar la estructura del talud y aumentar el riesgo de deslizamientos. La generación de biogás dentro del relleno también puede crear presiones internas adicionales que desestabilizan la masa de residuos. Las técnicas de estabilización tradicionales, como el uso de geomallas, sistemas de drenaje, y coberturas de suelo, deben ser adaptadas para enfrentar estos desafíos específicos.

El entorno regulatorio y normativo también presenta desafíos, ya que requiere el cumplimiento de estándares estrictos de protección ambiental y seguridad pública, lo que puede limitar las opciones de diseño y construcción. Adicionalmente, la interacción con el entorno natural, como el impacto en acuíferos subyacentes y ecosistemas circundantes, debe ser cuidadosamente gestionada para minimizar efectos adversos a largo plazo.

Por último, la estabilización de taludes de rellenos sanitarios es una operación costosa que requiere una inversión significativa en recursos humanos y materiales. La planificación a largo plazo y el monitoreo continuo son esenciales para garantizar la estabilidad del talud y la seguridad de las comunidades cercanas, lo que implica una gestión integral del sitio que considere tanto los aspectos técnicos como sociales del problema.

1.2 Planteamiento del problema

1.2.1 Problema general

¿Cuál es el diagnóstico y eficacia de la estabilidad del talud de un relleno sanitario en la ciudad de Juliaca, 2023?

1.2.2 Problemas específicos

1. ¿Cuáles son los factores internos determinantes que intervienen en la estabilidad del talud de un relleno sanitario en la ciudad de Juliaca, 2023?
2. ¿Cuáles son los factores externos determinantes que intervienen en la estabilidad del talud de un relleno sanitario en la ciudad de Juliaca, 2023?
3. ¿Cuál sería la propuesta para mejorar la estabilidad del talud de un relleno sanitario en la ciudad de Juliaca, 2023?



1.3 Justificación de la investigación.

1.3.1 Justificación técnica

La estabilización de taludes en rellenos sanitarios es una medida crítica para garantizar la seguridad estructural y funcional de estos sistemas de gestión de residuos, así como para proteger el medio ambiente y la salud pública. Desde un punto de vista geotécnico, los taludes en rellenos sanitarios están sometidos a diversas fuerzas y condiciones que pueden comprometer su estabilidad, como la presión interna de los gases generados por la descomposición de los residuos, la infiltración de agua de lluvia que genera lixiviados y el asentamiento diferencial del material de relleno. Estos factores pueden inducir deslizamientos o colapsos, que no solo ponen en riesgo la integridad del relleno, sino que también pueden provocar la liberación de contaminantes al entorno.

Desde una perspectiva ambiental, la estabilización de taludes es esencial para prevenir la contaminación de suelos y cuerpos de agua cercanos. Los lixiviados que se escapan debido a la falla de un talud pueden contener sustancias químicas nocivas, metales pesados y microorganismos patógenos que amenazan los ecosistemas acuáticos y terrestres. Al implementar técnicas de estabilización, como sistemas de drenaje y revestimientos impermeables, se minimiza la percolación de agua y la generación de lixiviados, contribuyendo a la protección de los recursos hídricos y a la conservación de la biodiversidad.

Técnicamente, la estabilización de taludes también mejora la capacidad de los rellenos sanitarios para manejar de manera efectiva los residuos durante su vida útil. Al asegurar que los taludes mantengan su forma y función, se optimiza el uso del espacio disponible, lo que permite un manejo más eficiente y sostenible de los residuos a largo plazo. Esto es particularmente relevante en áreas urbanas densamente pobladas, donde la disponibilidad de terrenos para nuevos rellenos es limitada.

Finalmente, desde el punto de vista de la ingeniería y la gestión de riesgos, la estabilización de taludes es una medida preventiva que mitiga el riesgo de eventos catastróficos, como deslizamientos masivos, que pueden tener consecuencias devastadoras para las comunidades adyacentes. La implementación de estrategias de estabilización adecuadas, basadas en estudios geotécnicos y modelaciones predictivas, es fundamental para asegurar la sostenibilidad y resiliencia de los sistemas de gestión de residuos, alineándose con las normativas ambientales y de seguridad vigentes, y garantizando la confianza del público en la gestión eficaz de los residuos sólidos.

1.3.2 Justificación económica

La estabilización de taludes en rellenos sanitarios representa una inversión económica significativa que, a largo plazo, puede generar ahorros considerables y beneficios económicos sustanciales. En primer lugar, al garantizar la estabilidad de los taludes, se minimizan los costos asociados con la reparación y reconstrucción en caso de deslizamientos o colapsos. Los incidentes de falla de taludes no solo son costosos en términos de intervención de emergencia y restauración, sino que también pueden interrumpir las operaciones del relleno, generando pérdidas económicas debido a la incapacidad de aceptar residuos durante el período de recuperación.

Además, la estabilización adecuada de taludes puede extender la vida útil de un relleno sanitario al maximizar la utilización del espacio disponible. La optimización del volumen de residuos que se puede almacenar eficientemente en un área determinada reduce la necesidad de construir nuevos rellenos, lo cual es una inversión mucho más onerosa. Esta extensión de la vida útil también pospone los costos significativos asociados con la adquisición de terrenos y el desarrollo de infraestructuras para nuevos sitios de disposición.

Desde una perspectiva de gestión de riesgos, la prevención de deslizamientos mediante la estabilización de taludes puede evitar demandas legales y sanciones regulatorias que surgen de la contaminación ambiental o de daños a propiedades y personas. Los costos legales y las multas pueden ser significativos y afectar negativamente la viabilidad financiera de las operaciones de gestión de residuos. Por lo tanto, la inversión en estabilización es una medida proactiva para mitigar estos riesgos financieros y proteger el flujo de ingresos de la entidad responsable del relleno.

En el ámbito de la sostenibilidad económica, la estabilización de taludes también puede mejorar la imagen y la reputación de la entidad gestora, generando oportunidades para acceder a financiamientos y subvenciones que apoyan prácticas ambientales responsables. Las entidades que demuestran un compromiso con la gestión segura y sostenible de residuos pueden ser vistas como líderes en la industria, atrayendo inversiones y colaboraciones estratégicas que fortalecen su posición en el mercado.

Finalmente, la estabilización de taludes contribuye al cumplimiento de normativas y estándares ambientales que pueden influir en la obtención de permisos operativos. El cumplimiento regulatorio no solo evita costos relacionados con incumplimientos, sino que también asegura la continuidad de las operaciones y la estabilidad económica de largo plazo. En resumen, aunque la estabilización de taludes requiere una inversión inicial, sus beneficios económicos derivados de la prevención de riesgos, la optimización de operaciones y el cumplimiento normativo justifican plenamente el gasto, asegurando la sostenibilidad y rentabilidad de las operaciones de gestión de residuos.

1.3.3 Justificación social

La estabilización de taludes en rellenos sanitarios es esencial desde una perspectiva social, ya que contribuye a la protección de la salud y el bienestar de las comunidades cercanas. Los rellenos sanitarios, cuando no están adecuadamente gestionados, pueden convertirse en focos de riesgo para la población debido a la posible



liberación de lixiviados y gases contaminantes. La estabilización de taludes ayuda a prevenir deslizamientos que podrían liberar materiales peligrosos al medio ambiente, reduciendo así la exposición de las comunidades a agentes nocivos que pueden afectar la salud humana, causando enfermedades respiratorias y otras afecciones.

Además, la percepción pública de los rellenos sanitarios como instalaciones seguras es crucial para mantener la confianza de la comunidad en las prácticas de gestión de residuos. La implementación de medidas de estabilización visibles y efectivas refuerza la confianza de la población en que las autoridades están tomando las medidas necesarias para proteger su entorno. Esto es particularmente importante en áreas donde la proximidad a rellenos sanitarios es inevitable, y donde la tranquilidad y la calidad de vida de los residentes pueden verse afectadas por preocupaciones sobre la seguridad de estas instalaciones.

La estabilización de taludes también tiene implicaciones significativas para la justicia ambiental. Las comunidades más vulnerables, a menudo aquellas que se encuentran cerca de rellenos sanitarios, son las que más sufren las consecuencias de la mala gestión de los residuos. Al asegurar que los taludes de los rellenos estén adecuadamente estabilizados, se está protegiendo a estas comunidades de los riesgos desproporcionados que podrían enfrentar, promoviendo así la equidad social y el cumplimiento de principios de justicia ambiental.

Desde un punto de vista económico-social, la estabilidad de los taludes también puede influir en el valor de las propiedades cercanas. Los deslizamientos o la percepción de inseguridad pueden devaluar el valor inmobiliario en las áreas circundantes, afectando negativamente la riqueza y los activos de los residentes locales. Por lo tanto, la estabilización de taludes no solo protege el ambiente físico y la salud, sino que también contribuye a la estabilidad económica de las comunidades al mantener el valor de sus bienes.

Finalmente, involucrar a las comunidades en el proceso de estabilización, a través de programas de educación y participación, puede fortalecer el tejido social, promoviendo una mayor conciencia y responsabilidad ambiental entre los ciudadanos. Esto puede llevar a una colaboración más estrecha entre la comunidad y las autoridades locales, mejorando la gobernanza y la sostenibilidad de las políticas de gestión de residuos. En resumen, la estabilización de taludes en rellenos sanitarios es una medida crucial que, al proteger la salud pública y promover la justicia ambiental, genera beneficios sociales significativos y contribuye al desarrollo sostenible de las comunidades cercanas.

1.3.4 Justificación ambiental

La estabilización de taludes en rellenos sanitarios es una medida fundamental para proteger el medio ambiente de los múltiples impactos negativos asociados con la gestión de residuos sólidos. Desde una perspectiva ambiental, uno de los principales beneficios de la estabilización de taludes es la prevención de la liberación de lixiviados, que son líquidos contaminantes generados por la percolación de agua a través de los residuos. Estos lixiviados pueden contener altas concentraciones de metales pesados, compuestos orgánicos volátiles, y otros contaminantes que, si no se controlan adecuadamente, pueden infiltrarse en el suelo y las aguas subterráneas, causando una contaminación que es difícil y costosa de remediar.

Durante la descomposición anaeróbica de los residuos orgánicos se producen gases de efecto invernadero como el metano; la estabilización de taludes ayuda a reducir sus emisiones. Taludes inestables pueden provocar fisuras que permiten la liberación descontrolada de estos gases, contribuyendo al cambio climático. Mediante la estabilización de taludes, es posible implementar sistemas de captura y gestión de gases más efectivos, reduciendo así el impacto ambiental de los rellenos sanitarios.

Desde el punto de vista de la biodiversidad, los rellenos sanitarios que no tienen taludes estabilizados pueden causar deslizamientos que impactan gravemente los hábitats naturales adyacentes. Esto puede llevar a la pérdida de especies y la alteración de ecosistemas críticos. La estabilización de taludes minimiza estos riesgos al mantener los residuos contenidos y evitar la expansión del área afectada por el relleno.

Además, la estabilización de taludes permite la integración de técnicas de restauración ecológica, como la revegetación, que no solo estabilizan el suelo, sino que también proporcionan beneficios adicionales, como la mejora de la calidad del aire, la creación de hábitats para la vida silvestre y la mejora estética del entorno. Las plantas utilizadas en la revegetación pueden absorber algunos contaminantes, actuando como una barrera adicional contra la dispersión de contaminantes.

Finalmente, la estabilización de taludes en rellenos sanitarios contribuye al cumplimiento de normativas ambientales estrictas, lo cual es esencial para asegurar que las operaciones de gestión de residuos se lleven a cabo de manera responsable y sostenible. Al implementar prácticas de estabilización adecuadas, se promueve la conservación de los recursos naturales y se asegura que las generaciones futuras puedan disfrutar de un ambiente limpio y saludable. En resumen, la estabilización de taludes en rellenos sanitarios es una medida crucial para mitigar el impacto ambiental de la gestión de residuos, proteger los ecosistemas circundantes y contribuir a un desarrollo sostenible a largo plazo.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Conocer la situación actual y eficacia de la estabilidad del talud de un relleno sanitario en la ciudad de Juliaca, 2023.

1.4.2 Objetivos específicos

1. Identificar los factores internos determinantes que intervienen en la estabilidad del talud de un relleno sanitario en la ciudad de Juliaca, 2023.
2. Determinar los factores externos determinantes que intervienen en la estabilidad del talud de un relleno sanitario en la ciudad de Juliaca, 2023.
3. Elaborar una propuesta para mejorar la estabilidad del talud de un relleno sanitario en la ciudad de Juliaca, 2023.

1.5 Importancia y alcance de la investigación

La estabilización de taludes en rellenos sanitarios es una tarea crítica que desempeña un papel esencial en la gestión segura y eficiente de los residuos sólidos urbanos. Los taludes de rellenos sanitarios, al estar compuestos de materiales heterogéneos y con propiedades mecánicas variables, son susceptibles a deslizamientos y fallas estructurales. La importancia de estabilizar estos taludes radica en la necesidad de prevenir eventos catastróficos que puedan resultar en la liberación incontrolada de residuos y lixiviados al entorno. Los deslizamientos de taludes no solo pueden causar daños significativos a la infraestructura del relleno, sino que también representan un riesgo potencial para la salud pública y el medio ambiente, al contaminar fuentes de agua y afectar negativamente los ecosistemas locales.

Desde un punto de visualización de la ingeniería, la estabilización de taludes es esencial para garantizar la integridad estructural del relleno sanitario. Las técnicas utilizadas, que pueden incluir el uso de geomallas, sistemas de drenaje y coberturas de suelo, están diseñadas para aumentar la resistencia al deslizamiento, mejorar el drenaje superficial y subterráneo, y reducir la infiltración de agua de lluvia. Esto no solo ayuda a mantener la estabilidad física del talud, sino que también minimiza la generación de



lixiviados y controla la liberación de gases, lo cual es crucial para cumplir con las normativas ambientales y de seguridad.

Además, la estabilización de taludes es fundamental para la sostenibilidad a largo plazo de las operaciones de gestión de residuos. Un relleno sanitario bien diseñado y mantenido permite maximizar la capacidad de almacenamiento de residuos, optimizando el uso del espacio y prolongando la vida útil del sitio. Esto reduce la necesidad de desarrollar nuevos rellenos, lo que a su vez disminuye la demanda de terrenos y minimiza el impacto ambiental asociado con la creación de nuevas instalaciones de gestión de residuos.

Desde una perspectiva socioeconómica, la estabilización de taludes también tiene implicaciones significativas. Garantiza la seguridad de las comunidades adyacentes, mantenerlos a salvo de contaminantes ambientales y corrimientos de tierra. Asimismo, al asegurar la operación continua y segura del relleno, se mantienen los empleos y se promueve la estabilidad económica en la región. La confianza pública en la gestión de residuos mejora cuando las instalaciones operan de manera segura y eficiente, lo que a su vez puede facilitar la aceptación de otras iniciativas de sostenibilidad en la comunidad.

1.6 Limitaciones y delimitaciones de la investigación

La estabilización de taludes en rellenos sanitarios enfrenta varias limitaciones técnicas, económicas, y ambientales que pueden complicar su implementación y efectividad. Una de las principales limitaciones es la heterogeneidad del material de desecho, que introduce una alta variabilidad en las propiedades geotécnicas del talud, como la cohesión, el ángulo de fricción interna y la densidad del material. Esta variabilidad dificulta la modelización precisa del comportamiento mecánico del talud bajo diferentes condiciones de carga y de humedad, lo que puede complicar el diseño de estrategias de estabilización efectivas. Además, el asentamiento diferencial, que ocurre debido a la descomposición y compactación de los residuos, puede afectar la estabilidad del talud a lo



largo del tiempo, haciendo que las soluciones de estabilización deban ser continuamente reevaluadas y ajustadas.

Desde una perspectiva técnica, la implementación de métodos de estabilización, como el uso de geomallas, anclajes y sistemas de drenaje, puede verse limitada por la capacidad de instalación en áreas de difícil acceso o en rellenos sanitarios que ya están en operación. Además, las condiciones climáticas extremas, como lluvias intensas o sequías prolongadas, pueden comprometer la eficacia de los sistemas de estabilización al alterar las condiciones de saturación del suelo y aumentar las fuerzas desestabilizadoras sobre los taludes.

Económicamente, la estabilización de taludes puede ser costosa, especialmente en rellenos sanitarios de gran escala o en aquellos ubicados en terrenos geográficamente complejos. Los costos asociados con los estudios geotécnicos, el diseño, los materiales y la mano de obra pueden representar un desafío financiero significativo, especialmente para municipios o empresas de gestión de residuos con recursos limitados. Esto puede llevar a decisiones subóptimas, como la reducción de la calidad de los materiales o la simplificación de los diseños, comprometiendo potencialmente la efectividad de las medidas de estabilización.

Desde una perspectiva ambiental, los métodos de estabilización pueden tener impactos negativos, como la alteración del hábitat debido a la construcción, el potencial de contaminación del suelo y las aguas subterráneas como resultado del uso de materiales estabilizadores inadecuados, y la consiguiente producción de más basura. Además, el manejo de los lixiviados y gases generados por el relleno puede ser complicado por las medidas de estabilización, que a veces interfieren con los sistemas de recolección y tratamiento.



1.7 Hipótesis

1.7.1 Hipótesis general

La situación actual es negativa y su eficacia es deficiente de la estabilidad del talud de un relleno sanitario en la ciudad de Juliaca, 2023.

1.7.2 Hipótesis específicas

1. Los factores internos determinantes que intervienen en la estabilidad del talud son ineficientes de un relleno sanitario en la ciudad de Juliaca, 2023.
2. Los factores externos determinantes que intervienen en la estabilidad del talud en de un relleno sanitario en la ciudad de Juliaca, 2023; son ineficientes.
3. La propuesta ayudará en la estabilidad del talud de un relleno sanitario en la ciudad de Juliaca, 2023 pues ofrece una mayor eficacia.

1.8 Variables

1.8.1 Variable independiente

Estabilidad del talud

Indicadores

- Propiedades de suelo
- Factor de seguridad
- Método de equilibrio limite
- Disminución del factor de seguridad
- Uso de gaviones

1.8.2 Variable dependiente

Relleno sanitario

Indicadores

- Estado en general

1.9 Operacionalización de variables

Tabla 1

Operacionalización de variables

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTOS
Independiente				
Estabilidad del talud	la estabilidad del talud es un concepto multidimensional que requiere un entendimiento profundo de las características del suelo, las condiciones ambientales y las cargas aplicadas para garantizar la seguridad y la viabilidad de cualquier proyecto que involucre terrenos inclinados.	Factores internos y determinantes Factores externos determinantes Propuesta	Propiedades del suelo	Hojas de cálculo Excel Panel fotográfico Formatos de ensayos
			Factor de seguridad	
			Método de equilibrio limite	
			Disminución del factor de seguridad	
			Uso de gaviones	
Dependiente				
Relleno sanitario	los rellenos sanitarios son infraestructuras esenciales para la gestión moderna de residuos sólidos, asegurando su disposición final de manera segura y minimizando impactos ambientales negativos.	Estado en general	Características generales	Panel fotográfico



CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación.

2.1.1 Antecedentes internacionales

Según Talunid (2018), en su investigación "Estabilidad de taludes de un relleno sanitario: caso carrapacho, chiquinquirá, Boyaca"; sostiene que Se han realizado investigaciones en los campos de las ciencias ambientales, agrología, geología e ingeniería geotécnica en el área que corresponde al relleno sanitario de Carrapacho. Con base en los resultados de estas investigaciones, Se ha establecido y confirmado que la zona especificada es apropiada para llevar a cabo una evaluación exhaustiva de la estabilidad de los taludes dentro de las celdas como preparación para la eliminación definitiva de los residuos sólidos. La carretera que comunica Chiquinquirá y Tinjacá da acceso a este relleno sanitario, que se encuentra en la parte alta de las veredas Sasa y Carapacho. Para llegar al lugar en particular, es necesario transitar por una carretera que no está pavimentada y que conduce directamente a la zona objeto de estudio. Este vertedero, de ámbito regional, ha sido seleccionado como el emplazamiento adecuado para aplicar la metodología de evaluación de la estabilidad de taludes. Esta decisión se



tomó de acuerdo con la normativa establecida por la autoridad medioambiental tanto a nivel regional como nacional. La definición de una superficie de posible desplazamiento en el perfil del talud es un paso esencial en el proceso de evaluación de la estabilidad del talud en el vertedero. Esta superficie se corta en porciones verticales, a menudo conocidas como «rebanadas», diseccionando cada una de estas partes de forma independiente. Cada una de estas partes necesita su propio cálculo de las fuerzas y momentos que actúan sobre ella.. Posteriormente, el factor de seguridad global se establece integrando una serie de criterios diferentes, como las condiciones sísmicas y las especificaciones de resistencia de los materiales

Según He et al., (2023), en su investigación “Estabilidad de taludes en macizos de residuos sólidos urbanos”; sostiene que en la actualidad, la disciplina conocida como «mecánica de los residuos sólidos» carece de conceptos o hipótesis que puedan describir adecuadamente las acciones de los RSU. Las ideas clásicas de la mecánica del suelo se emplean con frecuencia cuando se intenta describir el comportamiento de los residuos sólidos. La culpa de ello la tiene la escasez de datos. De este enfoque pueden derivarse escenarios en los que se tomen precauciones o problemas importantes de estabilidad de taludes en los macizos de RSU que constituyen los vertederos. Por ello, la aplicación de estos modelos estándar podría no siempre reflejar con precisión las condiciones reales, lo que podría repercutir en la gestión y diseño de estos sistemas de eliminación. Debido a la importante heterogeneidad y complejidad de las estructuras que intervienen en los vertederos, caracterizadas por la gran variedad de materiales y las múltiples interfaces presentes, por no hablar de lo difícil que es realizar pruebas tanto sobre el terreno como en un entorno controlado para obtener resultados fiables de las métricas de resistencia al cizallamiento, se ha decidido realizar un análisis retrospectivo de los taludes que han fallado. Esta técnica permite identificar las causas fundamentales del fallo de una forma más precisa y realista. El vertedero de La Bonanza, situado a 27 kilómetros del punto más alto de Tazón y a lo largo de la ruta que conduce a los Valles del Tuy, servirá de



emplazamiento para el proyecto de investigación. Este vertedero se encarga de la recolección y manejo de los desechos sólidos urbanos, que incluyen tanto desechos residenciales como comerciales, de los municipios Libertador, Sucre, Chacao, El Hatillo y Baruta en Caracas. Además, maneja los desechos generados en la región de los Valles del Tuy, que abarca los municipios Cristóbal Rojas, Simón Bolívar, Lander, Urdaneta y Paz Castillo. En concreto, el estudio se centró en la celda 3 de dicho vertedero, más concretamente en un talud que atravesó un periodo de tiempo durante el mes de junio del año 2002. Como parte de la investigación, se realizó un análisis de retrocálculo, que a veces se denomina análisis retrospectivo, sobre el talud que se observó. El objetivo principal de esta investigación era determinar los parámetros de resistencia al corte característicos de la pendiente considerada. A continuación, estos parámetros se compararon con los valores obtenidos en estudios anteriores realizados en la misma pendiente. El objetivo de esta comparación era examinar las diferencias y obtener un conocimiento más preciso de las condiciones que dieron lugar al cribado. Si queremos obtener un cálculo preciso de estos parámetros en los residuos sólidos urbanos, uno de los factores más importantes a tener en cuenta es cómo cambian los valores de resistencia al cizallamiento con el paso del tiempo. Estos factores están directamente relacionados con la edad de la basura. Existe la posibilidad de que se produzcan cambios considerables en las características y cualidades de los residuos sólidos a lo largo de su evolución, en particular los que están asociados a la resistencia al cizallamiento. Por este motivo, es vital conocer cómo cambian estos parámetros a medida que la basura envejece para poder realizar una evaluación precisa de su comportamiento y estabilidad en el contexto de las aplicaciones de gestión y eliminación de residuos. Se supone que la estabilidad de los taludes de los vertederos utilizados para residuos sólidos urbanos se ve muy afectada por la mala gestión del drenaje de biogás y los lixiviados. La falta de una gestión adecuada del drenaje es un factor crucial que se suma al problema de la inestabilidad de los taludes. Además, las modificaciones en la geometría de los taludes también tienen una influencia significativa, y se han reconocido como un factor presente en la mayoría de los taludes que



han fallado. El fallo de estos sistemas se ha relacionado repetidamente tanto con una gestión inadecuada del drenaje como con variaciones en el diseño geométrico de los taludes. Este problema se ha detectado en un gran número de vertederos investigados en todo el mundo.

Según Kashani et al., (2020), en su investigación "Análisis probabilístico de estabilidad de taludes en el rellano sanitario parque eco industrial Miramar"; sostiene que Las características de los residuos sólidos que se depositan en un vertedero son muy diversas, y estas cualidades pueden cambiar drásticamente con el paso del tiempo. La demografía de las personas que producen basura muestra estas diferencias debido a una amplia gama de factores económicos, sociales y culturales. Por tanto, los residuos sólidos se convierten en una sustancia muy variada. En la mayoría de los vertederos, las propiedades mecánicas y de resistencia de los residuos sólidos son en su mayoría desconocidas y no bien comprendidas. Esta heterogeneidad sugiere que estas cualidades son ampliamente desconocidas. Resulta difícil gestionar y diseñar eficazmente los sistemas de eliminación de residuos, ya que se carece de información específica sobre estas características. Tomando en consideración la información presentada anteriormente, el presente estudio contiene una caracterización integral del relleno sanitario ubicado en el Parque Ecoindustrial Miramar. Esta caracterización contiene una recopilación exhaustiva de la información referente a los procedimientos de diseño y operación utilizados en dicho centro, así como su conformidad con las regulaciones que han sido establecidas por las normas nacionales. Esta recopilación se realiza con la intención de determinar el grado de cumplimiento de las pautas y directrices que tienen un impacto directo en la estabilidad de los taludes de las celdas de eliminación de residuos. Lo hace para cerciorarse de que los procedimientos y diseños de los vertederos se ajustan a la normativa vigente, que incide en la seguridad e integridad de las instalaciones de eliminación. Además, se presentan aquí los resultados obtenidos en las pruebas de caracterización del material comúnmente denominado suelo-basura. Durante estas pruebas, se llevan a cabo una serie de



evaluaciones geotécnicas y medioambientales con el fin de identificar los parámetros de resistencia de este material. Se utilizó el método de simulación Monte Carlo para llevar a cabo un análisis probabilístico con el fin específico de evaluar los taludes presentes en cada una de las celdas de vertido. La producción de residuos sólidos con las propiedades requeridas, incluidas la cohesividad y el ángulo de fricción, fue posible gracias a esta metodología. A continuación, estos parámetros se incorporaron a los modelos de análisis. Como consecuencia de la realización de este planteamiento, se obtuvieron los valores correspondientes al factor de seguridad y a la probabilidad de fallo para cada uno de los taludes que fueron analizados. Como parte de esta investigación, probamos las respuestas de los taludes a una serie de otras circunstancias. Estos factores incluían la presencia de agua y lixiviados dentro de las celdas de vertido, la aplicación de presiones sísmicas y cambios en el ángulo de los taludes. Esta evaluación se llevó a cabo con el fin de determinar el grado de sensibilidad de los taludes a las condiciones que se estaban evaluando y, basándose en esta información, decidir la geometría que sería la más adecuada e ideal para los taludes, teniendo en cuenta las propiedades de los materiales que se habían determinado en el pasado. Con la ayuda de este enfoque, fue posible determinar los distintos parámetros que influyen en la estabilidad de los taludes y facilitar la construcción de una configuración que maximice la seguridad y el funcionamiento del sistema de vertido. En conclusión, se presentan una serie de sugerencias relativas a las técnicas de estabilización de taludes que pueden adoptarse en el vertedero. Estas recomendaciones pretenden mejorar la calidad de la construcción del vertedero, con el objetivo de permitir la producción de taludes de mayor altura y, al mismo tiempo, optimizar la utilización del área disponible para operaciones de esta naturaleza. Mediante la aplicación de estas técnicas de estabilización, el vertedero podrá gestionar mejor su espacio y ampliar su capacidad de almacenamiento, lo que redundará en un sistema más eficiente y seguro de operar.



Según Kashani et al., (2020), en su investigación "Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales"; sostiene que Los residuos sólidos, también conocidos como residuos sólidos urbanos (RSU), es la basura que llega a las ciudades procedente de todas las actividades que realiza la gente. Todo tipo de basura comercial, residencial e industrial, incluida la doméstica, la de pequeñas empresas y la artesanal, los residuos de instituciones públicas y privadas (incluidos los residuos de oficinas gubernamentales, escuelas y otros centros educativos), los residuos de mercados y los residuos de la limpieza y barrido de calles y zonas públicas en zonas urbanas se incluyen en esta categoría de residuos. La administración y gestión de estos residuos sólidos es responsabilidad de las autoridades municipales. Además, deben garantizar que estos residuos se recojan, traten y eliminen de forma que cumplan todas las leyes y normativas locales aplicables. El proceso de gestión de los residuos sólidos es complejo y difícil, sobre todo en lo que respecta a su eliminación final. En un gran número de países en desarrollo, este problema se ha convertido en un problema generalizado. Este problema tiene una serie de repercusiones que son visibles en diversos sectores, como la acumulación de basura en las calles, la ausencia de mantenimiento y limpieza suficiente de las zonas públicas y el aumento del número de empresas informales relacionadas con la gestión de residuos. Además, regularmente se permite arrojar residuos a ríos y otras masas de agua, además de abandonarlos en vertederos abiertos al público. El hecho de que personas de todas las edades y sexos, incluidos hombres y mujeres, vivan en estas zonas en condiciones extremadamente precarias es un factor que agrava aún más el problema. Debido a las terribles condiciones en las que viven, estas personas corren el riesgo de contraer una amplia gama de enfermedades y de verse implicadas en accidentes. Debido a la insuficiente gestión de esta basura, el problema asociado a la gestión de los residuos sólidos urbanos (RSU) es algo que se observa en la mayoría de las ciudades y pueblos pequeños. Debido a una serie de factores interconectados entre sí, este problema tiende a agravarse en determinadas zonas. Esto incluye aspectos como la evolución de la industria, los cambios en las preferencias de los consumidores, la rápida urbanización de



la población y el aumento y concentración de la población en regiones metropolitanas. Además, el uso generalizado de envases y embalajes de un solo uso, así como la utilización de materiales desechables, contribuyen significativamente al aumento de la producción de basura. La gestión de los residuos sólidos urbanos ya es un reto en las zonas afectadas, y la combinación de estas variables realmente empeora las cosas. Debido a la crisis económica y a la inestabilidad institucional, la financiación pública se ha reducido y las tarifas de los servicios se han mantenido bajas, lo que agrava la situación actual. La falta de interés y conocimiento de los ciudadanos sobre las cuestiones de saneamiento agrava el problema al hacerlos reacios a pagar por los servicios de recogida y eliminación de basuras. La calidad del servicio de limpieza urbana se ve gravemente afectada por esta resistencia, lo que constituye otro aspecto que contribuye al empeoramiento de la situación. Los efectos combinados de la financiación insuficiente y la implicación de la comunidad crean un círculo vicioso en el que los servicios de gestión de residuos se vuelven menos eficientes y eficaces. Cada una de estas cosas repercute negativamente en el bienestar de las personas, arruina los recursos naturales y el ecosistema de nuestra zona y rebaja el nivel de vida de todos. Al mismo tiempo que crecen y se desarrollan los asentamientos humanos, aumenta la cantidad de basura que se genera. Los efectos acumulativos de estos residuos son perjudiciales para la salud pública y reducen o eliminan su valor económico potencial. Además, la acumulación de estos residuos y su gestión inadecuada contribuyen a la degradación del medio ambiente, lo que a su vez repercute negativamente en el entorno en el que viven las personas. Esta circunstancia demuestra la necesidad de una gestión eficaz de los residuos para salvaguardar tanto la salud humana como el medio ambiente, así como para mejorar la calidad de vida en las zonas afectadas. Visto en este contexto, se hace evidente la necesidad crítica de encontrar soluciones adecuadas para la gestión de los residuos sólidos y su eventual eliminación. Dada la gravedad de la situación, es fundamental que las autoridades competentes, incluidos los gobiernos locales, adopten una postura racional y firme en la gestión de la basura. Para gestionar eficazmente los residuos, es vital aplicar



formas y estrategias eficientes que tengan en cuenta todos los factores potenciales implicados. Dadas las circunstancias, es necesario comprometerse de forma decidida y bien planificada a abordar las dificultades relacionadas con el tratamiento y la eliminación de residuos, con la intención de mejorar las condiciones tanto del medio ambiente como de la salud pública, El grado de educación ambiental de la comunidad y su capacidad para sufragar el coste de los servicios de recogida y limpieza urbana también son factores importantes a tener en cuenta. ¿Cuáles son las consecuencias de mezclar distintos tipos de residuos? ¿Cuál es el valor económico potencial de determinados residuos y las oportunidades de mercado asociadas a ellos? ¿Cuál es la integración y eficacia de los sistemas de tratamiento y eliminación de residuos? ¿Cuáles son los costes asociados a los distintos procesos necesarios para la recogida, transporte, tratamiento y eliminación de residuos? Con el fin de garantizar una gestión eficaz y responsable de los residuos sólidos desde el punto de vista medioambiental, es necesario estudiar detenidamente estas variables.

2.1.2 Antecedente nacional

Según Ramirez (2018), en su investigación "Análisis comparativo entre la norma E 030 y el estudio de peligro sísmico en la estabilidad del Pad de lixiviación Moquegua 2019"; sostiene que Durante el proceso de análisis de la estabilidad de la plataforma de lixiviación, se analizaron los aspectos de seguridad contrastando la norma E 030 con la evaluación del riesgo sísmico. En esta investigación se utilizaron diversas técnicas matemáticas . Estos métodos han demostrado ser los más precisos y se utilizan actualmente para la estabilidad de taludes. El método Janbu, el método Bishop y el método Spencer son ejemplos de estos tipos de métodos. Estos métodos se han elegido por su alto nivel de precisión y su amplio reconocimiento en el campo de la ingeniería geotécnica. Como resultado, garantizan un estudio exhaustivo y riguroso de la estabilidad tanto en situaciones estáticas como sísmicas. Se determinó que se habían seguido los requisitos



especificados en la Norma E 0.30 para determinar el coeficiente sísmico que se utilizó en el análisis. Además, se llevó a cabo un estudio exhaustivo de los riesgos sísmicos, que implicó tanto la recogida de muestras de suelo como la realización de trabajo de campo. Para obtener una colección completa de las características geotécnicas del suelo en cuestión, estas muestras se sometieron a una serie de experimentos de mecánica de suelos en el laboratorio. Estos datos permitieron realizar una evaluación exacta de las características del suelo, necesaria para la correcta utilización del coeficiente sísmico en el análisis de la estabilidad y seguridad estructurales; Con el fin de determinar el Factor Crítico de Seguridad, se realizaron varias simulaciones y se llevó a cabo un análisis exhaustivo en el que se identificaron circunstancias tanto estáticas como pseudoestáticas. Como resultado de estas investigaciones en profundidad, fue posible confirmar que el PAD posee unas características de estabilidad ideales, lo que permite llegar a la conclusión de que no supone una amenaza sustancial para el medio ambiente. Los resultados obtenidos demuestran que el PAD es estructuralmente sólido, lo que garantiza que su funcionamiento no tendrá potencialmente un efecto perjudicial sobre los ecosistemas de los alrededores ni sobre la calidad del medio ambiente.

Según Ministerio del Ambiente (2019), en su investigación “guía de; diseño, construcción, operación, mantenimiento y cierre de relleno sanitario mecanizado”; sostiene que La falta de una gestión adecuada de los residuos sólidos supone una importante amenaza para la salud de la población. Este riesgo aumenta considerablemente cuando la basura se deposita en vertederos abiertos o cuando se utilizan otros procedimientos de eliminación inadecuados, que sólo sirven para agravar la contaminación del aire, el agua y el suelo. La proliferación de vectores, como roedores e insectos, está estrechamente ligada a estos procedimientos deficientes de gestión de residuos. Estos vectores pueden contribuir a la propagación de enfermedades, tanto directa como indirectamente. Estas condiciones no sólo repercuten en las personas empleadas en el servicio público de



limpieza, sino también en las personas cuyo sustento depende de la recuperación de la basura, así como en las comunidades vecinas o que viven muy cerca de estos vertederos insuficientes. El vertido indiscriminado de basura en el medio ambiente, cuando sobrepasa determinados límites ecológicos, tiene un impacto perjudicial que puede superar la capacidad de regeneración natural del ecosistema. Esto es algo que se ha llegado a reconocer en el mundo actual. Tras alcanzar un punto de saturación, este fenómeno demuestra que el medio ambiente experimenta daños que pueden ser de naturaleza irreversible. Este daño puede ser causado por el medio ambiente. En general, la cantidad de basura que produce la sociedad crece a un ritmo mucho más rápido que la capacidad disponible actualmente para tratar y eliminar los residuos de forma adecuada. Los expertos que trabajan en esta industria tienen una enorme dificultad como resultado de este predicamento. Ellos son los responsables de diseñar y poner en marcha soluciones oportunas y eficaces para paliar este problema. La creciente cantidad de basura que se produce exige no sólo una respuesta tecnológicamente avanzada, sino también una estrategia global que tenga en cuenta las repercusiones medioambientales, sociales y económicas asociadas a los planteamientos que se utilizan actualmente para la gestión de residuos. Todos los países, regiones y localidades se enfrentan a su propio conjunto de problemas cuando se trata de la gestión de residuos sólidos. Estos retos vienen determinados por una serie de elementos distintos que influyen en el tipo y el alcance del problema. Algunos ejemplos de estos factores son los siguientes: la densidad de población, que determina la concentración de la población y, en consecuencia, la cantidad de residuos generados; las características culturales de cada comunidad, que influyen en las pautas de consumo y eliminación de residuos; el grado de desarrollo económico, que influye en la infraestructura y la tecnología disponibles para la gestión de residuos; y la estructura económica local, que puede determinar los recursos que se destinan a la gestión de residuos. El clima, la geografía y la accesibilidad de los recursos naturales son algunos ejemplos de factores medioambientales que influyen significativamente en la definición del problema. Cuando se utilizan de forma responsable y respetuosa con el medio ambiente,



estas condiciones pueden allanar el camino hacia mejores métodos para eliminar adecuadamente los residuos sólidos.. Consideradas en su conjunto, estas características permiten construir técnicas de gestión de residuos más adecuadas a las circunstancias particulares de cada lugar. Esto, a su vez, contribuye a una gestión ecológicamente responsable y eficiente. La supervisión y gestión de los residuos sólidos implica algo más que un proceso técnico, sino que su complejidad deriva del hecho de que está entrelazada con diversos ámbitos, como la ecología, energías renovables, minimizar los residuos y proteger los recursos naturales de nuestro planeta, el cumplimiento de la normativa vigente y la administración pública. Debido a la naturaleza de esta cuestión, es imperativo que la gestión de residuos se aborde desde una perspectiva multidisciplinar, global e intrincada. El fomento de la colaboración intersectorial, que implica la participación de técnicos y profesionales de diversas disciplinas de especialización, es muy necesario para establecer un enfoque que sea realmente eficaz y sostenible. Sólo mediante la colaboración de varios campos es posible garantizar que las soluciones que se apliquen sean holísticas, tengan en cuenta todas las cuestiones pertinentes y minimicen las repercusiones negativas en la sociedad y el medio ambiente. Hay que tener en cuenta que la concienciación y el compromiso activo de toda la población son cruciales para que las iniciativas para resolver los retos de la gestión de residuos sólidos sean realmente eficaces. Para lograr este grado de participación ciudadana, es necesario fomentar la educación ambiental permanente y concienciar sobre la importancia de las medidas que se están tomando. Las administraciones locales, que tienen la obligación de liderar y coordinar estas iniciativas, son las que deben tomar la iniciativa en este proceso educativo y de concienciación. Sólo a través de una estrategia que combine la educación y la sensibilización a nivel comunitario es posible garantizar que las soluciones que se adopten sean sostenibles y tengan una influencia positiva en la gestión de los residuos sólidos que perdure en el tiempo.

Según Juárez (2022), en su investigación "Diseño de la infraestructura para el aprovechamiento y disposición final de los residuos sólidos municipales en el distrito de San Ignacio, Cajamarca", sostiene que como Para empezar, uno de estos objetivos era



realizar un análisis exhaustivo del estudio de caracterización de residuos que se había llevado a cabo en el pasado. Esto se hizo con la intención de adquirir un conocimiento exhaustivo de la situación actual. Además, se propuso un análisis exhaustivo de la alternativa elegida para la zona de intervención del proyecto. Esto se hizo para garantizar que la alternativa es la opción más adecuada y sostenible a lo largo de la duración del proyecto, teniendo en cuenta tanto los aspectos sociales como los medioambientales. Sólo mediante la aplicación de estos procedimientos meticulosamente planificados será posible avanzar hacia una solución que sea viable y resuelva de forma integral los problemas asociados a la gestión de residuos en la región, Es necesario llevar a cabo una serie de acciones precisas y meticulosas para garantizar el éxito del proyecto y asegurar su idoneidad. Para empezar, es de suma importancia determinar la población potencial que se beneficiará del proyecto. Esto permitirá modificar y cambiar las soluciones propuestas para satisfacer los requisitos particulares de las personas que se beneficiarán del proyecto. En la etapa siguiente, es necesario llevar a cabo investigaciones exhaustivas que incluyan cálculos topográficos, geofísicos y geotécnicos. Tras la realización de estas investigaciones, se obtendrá un conocimiento exhaustivo de las características del terreno, necesario para el diseño y la planificación del proyecto.

2.1.3 Antecedente local

Según Arhuata (2023), en su investigación "Propuesta de diseño de un relleno sanitario para la disposición final de residuos sólidos del distrito de acora puno 2023"; sostiene que Con el fin de abordar este proceso, se llevó a cabo un análisis exhaustivo del estado actual de la gestión de residuos sólidos por parte de la municipalidad distrital. Gracias a este primer diagnóstico pudimos realizar una evaluación de la circunstancia actual y sentar las bases para las siguientes etapas de la investigación. Tras la realización de esta investigación preliminar, se identificaron una serie de aspectos significativos relativos a la formación de residuos sólidos y sus características. Entre ellos, la estimación



de la generación per cápita (GPC), que es una métrica esencial para comprender la cantidad típica de basura que produce cada individuo en el área investigada. Además, se llevó a cabo un análisis exhaustivo de la composición física de los residuos sólidos. Para ello, tuvimos que desmontar los residuos en sus múltiples componentes. Así pudimos determinar el porcentaje de materiales reciclables, orgánicos y de otro tipo. Cuando se trata de desarrollar soluciones eficaces de gestión y tratamiento de residuos, es fundamental conocer a fondo su composición física.

Según Huascope (2021), en su investigación "Estabilidad De Taludes Naturales Empleando Métodos Convencionales, Sector Lavini, Puno 2021."; sostiene que Utilizando evaluaciones basadas en metodologías tradicionales, el objetivo que se formó fue determinar el grado de estabilidad que se ha establecido para las pendientes naturales. Para lograr este objetivo, se utilizó una metodología acorde con el método científico. Esto se debe al hecho de que el método científico proporciona una solución eficaz a la cuestión particular de la inestabilidad del suelo de los taludes. Mediante la utilización de este enfoque metodológico, somos capaces de validar las ocurrencias y características de las propiedades físico-mecánicas de los suelos, lo que a su vez nos proporciona una comprensión global de las formas en que estos elementos afectan a la estabilidad de los taludes. Además, la recogida de datos se ha llevado a cabo en un periodo de tiempo predeterminado, concretamente a partir de enero de 2021, con el fin de garantizar que la información utilizada en el análisis es pertinente y exacta en función de las circunstancias actuales del terreno. La utilización de esta metodología científica es necesaria para proporcionar una evaluación precisa de la estabilidad de los taludes. Esto, a su vez, facilita el reconocimiento de problemas potenciales y la puesta en marcha de remedios apropiados para reducir la inestabilidad del suelo en las regiones investigadas, Este estudio se considera un ejemplo de investigación de estilo aplicativo porque su objetivo principal es encontrar soluciones a problemas del mundo real empleando métodos y técnicas de



cálculo concretos. El objetivo de esta investigación es ayudar con éxito a la sociedad abordando y resolviendo problemas en poco tiempo. Esta investigación se lleva a cabo con el propósito de alcanzar este objetivo. Además, el estudio de investigación adopta un método explicativo, ya que su objetivo principal es identificar los factores responsables de determinados sucesos y fenómenos físicos. En particular, se trata de comprender las razones que explican la aparición de estos sucesos, sobre todo en relación con más de dos variables que influyen en los valores de los factores de seguridad. Para comprender mejor cómo influyen estos factores en la estabilidad del terreno, se estudiarán las condiciones del suelo de varios taludes. A lo largo de la investigación, estas variables se modificarán deliberadamente para mostrar cómo fluctúan los valores de los factores de seguridad en diferentes condiciones. Los problemas de estabilidad del suelo de los taludes pueden comprenderse mejor y evitarse con el uso de este método, que también proporciona información crucial para la gestión y con fines preventivos. Las conclusiones del estudio de estabilidad de taludes derivadas del método de Spencer y basadas en la idea del equilibrio límite indican que un factor de seguridad estimado (FS) de 1,32 para el perfil-01. Por otro lado, el factor de seguridad asciende a 1,44 cuando se considera el perfil-02. Por otra parte, el factor de seguridad asciende a 1,44 cuando se considera el perfil-02. Además, cuando se utiliza la teoría de los elementos finitos para evaluar la estabilidad, los resultados indican que el factor de seguridad para el perfil-01 es de 1,37. Por otra parte, el valor del factor de seguridad para el perfil-02 es de 1,44. Por otro lado, el valor del factor de seguridad alcanza 1,56 para el perfil-02, lo cual es significativo. Combinando los resultados de los dos métodos teóricos, este estudio analiza con gran detalle la estabilidad de los taludes de los perfiles investigados. De este modo, podremos conocer mejor las circunstancias específicas de seguridad de cada escenario. Las conclusiones de un examen exhaustivo del grado de estabilidad de los taludes utilizando dos hipótesis alternativas muestran que los resultados son bastante parecidos. Esta es la conclusión que puede extraerse de los resultados. En el contexto de las aplicaciones reales, la diferencia en los resultados derivados de las dos técnicas es tan insignificante que puede



considerarse sin consecuencias. El enfoque de los elementos finitos arroja el valor máximo de FS, tal como determinan los valores del factor de seguridad que se calcularon. Teniendo en cuenta estos resultados, es posible afirmar que el talud se encuentra en un estado de estabilidad estática satisfactorio. Sin embargo, en situaciones sísmicas o de saturación, su estabilidad se vuelve dudosa o crítica, según las circunstancias. A pesar de ello, el talud se ajusta al valor mínimo del factor de seguridad de 1,25 definido por la norma NTP-CE020. Esto implica que, a grandes rasgos, la estructura del talud es adecuadamente estable para las condiciones que se evaluaron.

Según Quispe (2018), en su investigación "Evaluación del sistema de relleno sanitario de la localidad, distrito y provincia de Ocuwiri en Puno, Lampa."; sostiene que El objetivo principal de esta investigación es evaluar el diseño de la infraestructura del vertedero de Ocuwiri tras el colapso de la primera celda debido a una mala gestión de la clasificación de los residuos sólidos y a una evaluación inexacta de la vida útil del emplazamiento. Esta evaluación se llevará a cabo tras el colapso de la primera celda. La zona de Ocuwiri, situada en la provincia de Lampa, en la región nororiental de Puno, alberga este vertedero. El propósito de la evaluación es identificar y rectificar las deficiencias existentes, con el objetivo final de garantizar que el vertedero en esa zona en particular se gestione de manera adecuada y sostenible. Sobre la base del perfil del proyecto, se llevó a cabo una evaluación completa, como parte de esto, analizamos lo siguiente: producción de basura per cápita, producción total de basura per cápita producidos por los hogares y el porcentaje de residuos que corresponde a residuos producidos por los hogares. Además, se investigó la cobertura del servicio de recogida, así como el porcentaje de basura orgánica e inorgánica que se utilizó en todo el proceso. Para lograr este objetivo, se recopiló y analizó la información obtenida de la investigación de extensión de limpieza pública. Como resultado de esta investigación, fue posible realizar una evaluación precisa de los diversos factores que están asociados con la gestión de residuos sólidos, lo que proporcionó una visión integral de la gestión de residuos en la zona, La tasa de crecimiento



de la población, que es del 2,393%, y la generación de basura per cápita, que se prevé que sea de 0,38 kg por habitante y día, son dos de los datos más importantes que se recopilaron. También se determinó que la cantidad total de residuos que genera el municipio es de 0,50 toneladas al día, y que el volumen anual de basura que hay que eliminar es de 273 metros cúbicos. S A continuación se dimensionó toda la infraestructura de eliminación. Cuenta con dos celdas de 494,93 metros cúbicos de capacidad cada una. Esto se logró con la ayuda de los datos anteriormente mencionados. A partir de este dimensionamiento, parece que la vida útil prevista de cada celda oscilaría entre 1,80 y 2,54 años, Para conocer la cantidad de residuos sólidos compactados en el vertedero sanitario, se decidió realizar una medición sobre el terreno debido a esta situación, además del porcentaje de material que se utilizó para la cobertura. Para realizar esta medición se utilizaron los meses de septiembre y octubre de 2018. Fue factible constatar que la cantidad de basura sólida que se compacta es de 0.54 toneladas por día, lo que se traduce en un volumen total de 246 metros cúbicos de residuos sólidos urbanos que es necesario compactar en un año. De acuerdo con la clasificación que se realizó en el transcurso del estudio, éste contiene material de cubierta, que representa el veinte por ciento del porcentaje total. Durante los meses mencionados, se descubrió que el 72,5% del material son residuos que necesitan ser compactados, mientras que el 27,5% se refiere a cosas que van a ser separadas. Esto significa que la cantidad total de basura que hay que eliminar es de 179 metros cúbicos, con un 20% adicional que corresponde a material de cobertura, lo que da como resultado un total de 214 metros cúbicos generados cada año. El volumen de material clasificado alcanza los 67,75 metros cúbicos cada año, y su vida útil prevista es de 2,48 años. Además, el material tiene una clasificación específica. Estos resultados demostraron que la vida útil práctica de las células no alcanzaría el objetivo de cinco años especificado en la descripción del proyecto.



2.2 Bases teóricas

2.2.1 Estabilización de taludes

Cuando se habla de «taludes», se entiende que cualquier superficie inclinada con respecto a la horizontal y que esté sostenida por una estructura de tierra es un talud. Estos taludes pueden dividirse en dos categorías principales: los taludes naturales, que son los generados de forma natural por procesos geológicos, y los artificiales, que son los realizados por la intervención humana. Ejemplos de taludes artificiales son los cortes en el terreno y los terraplenes que se construyen con diversos fines. A la hora de determinar la estabilidad de un talud, lo principal es determinar la seguridad de la masa de suelo que forma el talud. Más concretamente, al realizar el análisis se explora la capacidad de la masa de suelo para soportar fallos o deslizamientos. Es fundamental realizar este análisis para garantizar que los taludes no se derrumbarán o deslizarán, lo que es esencial para evitar causar daños a las infraestructuras y garantizar la seguridad general de la zona en cuestión. Existe la posibilidad de movimiento en la superficie de una masa de suelo que tiene una pendiente en su superficie. Este movimiento plantea la posibilidad de que el material que está encima de la masa de suelo se deslice. Los esfuerzos de cizallamiento que se aplican son superiores a la capacidad de resistencia al cizallamiento del suelo, que es la razón por la que esto ocurre. Para ser más específicos, Si las pendientes están formadas por materiales blandos como el suelo, es más probable que se produzca un corrimiento de tierras sobre una superficie casi circular. La presencia de este fenómeno, típico de los suelos blandos, dificulta considerablemente el análisis de la estabilidad de los taludes. Debido al hecho de que la superficie de fallo es capaz de ajustarse libremente a la línea de menor resistencia a lo largo de la pendiente, el comportamiento de la pendiente no muestra ningún patrón estructural fijo. Una de las formas más comunes de estudiar la estabilidad de los taludes es mediante la técnica del equilibrio límite. Este enfoque, que se basa únicamente en la estática, evalúa el estado de equilibrio de una masa de terreno potencialmente inestable. Además, en este enfoque no se incluye el potencial de

deformaciones del terreno. De hecho, presupone que, en el mismo momento del fallo, la resistencia al cizallamiento se reduce simultáneamente a lo largo de toda la superficie de cizallamiento. (Crespo, 2004).

Al emplear esta opción, la estabilidad de un talud se representa a través del factor de seguridad (FS), el cual se define como:

$$FS = \frac{\text{Resistencia al corte disponible}}{\text{Esfuerzo de corte movilizado}}$$

2.2.2 Rellenos sanitarios

Un relleno sanitario se define como una instalación que recolecta y dispone residuos sólidos, según el Decreto Supremo 189 (2005), emitido por el Ministerio de Salud. En este tipo de instalaciones se disponen los residuos sólidos domiciliarios y otros de naturaleza similar, con la intención de limitar las molestias y peligros asociados a la salud y seguridad de la comunidad, así como disminuir el impacto que la instalación tiene sobre el medio ambiente. Los residuos se apilan en capas y se compactan en un vertedero para alcanzar el menor volumen posible. Además, los residuos se cubren periódicamente para garantizar su gestión adecuada. El procedimiento estándar para eliminar la basura en vertederos sigue un patrón estándar que se basa en la forma de apilar los residuos en el suelo en capas consecutivas. Tras ser expuestas a un proceso de compactación, que puede ser intenso o leve, estas capas de residuos se cubren con una capa de tierra compactada como preparación para su manipulación. Diariamente se realiza un recubrimiento lateral inclinado, que se aplica a intervalos regulares para evitar que se alteren las capas de residuos. Uno de los resultados de este proceso es la producción de secciones más pequeñas, que se denominan celdas. Estas celdas se utilizan para indicar el volumen de basura que se gestiona durante un periodo operativo concreto. En cada celda también se incluye una capa de material de cobertura. Esta capa suele tener un grosor de entre treinta y quince centímetros. Para evitar que la basura se disperse por el



entorno, se toman una serie de precauciones que se ponen en práctica al término de cada ciclo de funcionamiento. Estas precauciones tienen por objeto evitar que el viento desplace los residuos ligeros. Del mismo modo, trabajamos para frenar la propagación de enfermedades que podrían transmitir roedores, insectos y otros vectores. Además, para disminuir la influencia del vertedero en el medio ambiente y mejorar la gestión de los residuos, se están realizando esfuerzos para reducir la cantidad de agua que se filtra en el vertedero durante su funcionamiento. Con el fin de cubrir la capa superior del relleno, se aplica una capa de revestimiento más sustancial. Esta capa de revestimiento puede estar compuesta por varias capas de tierra y/o la instalación de geomembranas. El propósito de este revestimiento es servir como una barrera que separa la basura del medio ambiente circundante. Además, esta cubierta sirve de base para la superficie que se utilizará en el futuro una vez reparada la región. En el Anexo B se incluye una sección transversal típica que proporciona una descripción detallada de los numerosos componentes que conforman una planta de residuos sólidos. Además, se representan otros dos tipos de disposiciones: una es vertical, mientras que la otra está inclinada. También se muestran otros dos tipos de disposiciones: una es vertical, mientras que la otra está inclinada. Estas disposiciones se corresponden con vertederos que se crean en altura, y pueden construirse tanto en terreno llano como sobre un vertedero ya urbanizado.

2.2.3 Propiedades de los rellenos sanitarios urbanos

La comprensión de las características de los residuos sólidos urbanos (RSU) para garantizar el funcionamiento y la gestión eficaces de un vertedero. La falta de comprensión de estas características y de su evolución a lo largo del tiempo ha provocado una gran cantidad de contratiempos. Los cambios en los RSU a lo largo del tiempo pueden tener un gran impacto en la eficiencia de los vertederos; por lo tanto, es vital realizar un estudio exhaustivo y continuo de estas cualidades para minimizar las dificultades futuras.

2.2.3.1 Composición porcentual

La composición de los residuos sólidos urbanos (RSU) es sorprendentemente diversa y puede variar drásticamente de un lugar a otro. Esto se debe a que los RSU son una basura extremadamente diversa. El grado de desarrollo económico, tecnológico, cultural e higiénico que posee cada región está íntimamente relacionado con estas variaciones. El análisis de la composición media de los RSU en diferentes ciudades del país y del mundo puede arrojar luz sobre las similitudes y variaciones en la producción y gestión de los RSU. Esta información se muestra en el Anexo C. Dado que la composición física de los RSU afecta en gran medida al buen funcionamiento de las instalaciones de tratamiento de aguas residuales en su conjunto, es crucial conocer bien este material. Diversas propiedades físicas del material están estrechamente correlacionadas con el contenido de materia orgánica de los RSU, como su densidad, permeabilidad y contenido de humedad. Dado que los plásticos, el cuero y otros materiales similares tienen componentes fibrosos, éstos afectan directamente al comportamiento de resistencia al cizallamiento del material. La razón es que mejoran el comportamiento del material al aumentar los valores de cohesividad. A la inversa, la estabilidad del relleno se ve reforzada por materiales inertes y dimensionalmente estables que proporcionan a los residuos sólidos urbanos (RSU) una mayor resistencia a la fricción.

2.2.3.2 Humedad

La humedad relativa de los RSU puede variar en función de las circunstancias ambientales. El clima local, la composición original de los residuos y el mecanismo operativo del vertedero son factores a tener en cuenta. Además de la capacidad y eficacia de los sistemas de recogida de lixiviados, el tipo de sistema de revestimiento utilizado y la tasa de descomposición biológica, otro aspecto importante es la tasa de descomposición biológica. En sentido general, se ha observado que los niveles de humedad registrados son más elevados cuando el porcentaje de materia orgánica que contiene la masa de

residuos es mayor. Cuando ciertos materiales, como plásticos, papel, cuero y madera, entre otros, están presentes en los vertederos, existe la posibilidad de que se produzcan acumulaciones de humedad. Estos materiales tienen la capacidad de retener o absorber líquidos dentro de su estructura. Durante el proceso de análisis de los datos recogidos en el vertedero de Bandeirantes, se descubrió que los niveles de humedad adquiridos aumentaban considerablemente en proporción a la profundidad de los puntos de muestreo tomados. Debido a la gran variedad de factores que influyen en estos valores, los valores del contenido de humedad de los residuos sólidos urbanos (RSU) que se han descrito en la bibliografía están sujetos a una importante fluctuación. Debido a esta variación, se dificulta el proceso de definición de patrones o normas que determinen la variabilidad de la humedad en los vertederos. Esto sugiere que no existe un patrón consistente que pueda utilizarse, junto con el hecho de que los resultados están muy condicionados por las especificidades de cada vertedero.

2.2.3.3 Densidad

Uno de los aspectos más importantes a tener en cuenta a la hora de determinar si un vertedero es estable o no es el análisis del estado de tensiones que se producen por el peso de los materiales que lo componen, tal y como afirma Escriba (2016). Por este motivo, es absolutamente necesario conocer la densidad de los residuos sólidos urbanos (RSU) para poder realizar un estudio adecuado. Hay una serie de elementos que contribuyen a la complejidad del proceso de determinación de la densidad de los residuos sólidos urbanos (RSU). La falta de procedimientos de muestreo y ensayo científicamente aceptados y validados, la dificultad de calcular las variaciones de densidad a lo largo del tiempo y a distintas profundidades, y la separación de los residuos según la capa de cobertura diaria son algunos de estos problemas. La mayoría de los datos se refieren a residuos situados cerca o en la superficie. La operación ya es suficientemente complicada sin tener que lidiar con la cuestión adicional de intentar determinar el contenido de

humedad de los RSU. La precisión del proceso de determinación del valor de densidad mejora considerablemente cuando se tienen en cuenta de antemano determinadas condiciones esenciales. Estos son algunos de los criterios que se incluyen: materiales encontrados en los RSU, que incluye la caracterización del suelo utilizado como cubierta y el contenido de humedad; la técnica utilizada para construir el vertedero y el grado de compactación de la basura; la profundidad a la que se midió la densidad; y la antigüedad del vertedero que se está utilizando. Estos parámetros tienen un impacto directo en los valores de densidad, que suelen situarse entre 0,30 y 1,5 toneladas por metro cúbico (t/m³). Basándose en esto, es posible llegar a la conclusión de que los vertederos con una compactación deficiente o inexistente de la basura están relacionados con valores de densidad más bajos. Por otro lado, los residuos que han permanecido en el vertedero durante un largo periodo de tiempo y han estado sometidos a sobrecargas relativamente grandes, así como la basura que se ha creado utilizando los procedimientos actuales, suelen ser los tipos de residuos que presentan valores de densidad mayores. Consulte el anexo C para obtener más información y datos específicos.

2.2.4 Caracterización de talud en rellenos sanitarios

2.2.4.1 Caracterización geométrica del talud

Si nos fijamos en la legislación sobre residuos sólidos de varios países, está claro que la mayoría de ellos tienen normas sobre la pendiente más alta que se puede permitir, que puede ir desde:

- 1V:2,5H (21,8°, Banco Mundial); 1V:3H (18,4°, Australia, Sudáfrica, Chile, etc.), Estos taludes no se ven afectados por las condiciones típicas y siguen siendo estables incluso cuando se encuentran en pendientes pronunciadas.



- 1V:4H (14°, Canadá), Con este talud, la estabilidad de la ladera está garantizada incluso cuando alcanza alturas superiores a sesenta metros, en los casos en que se alcanza la saturación y los coeficientes sísmicos son superiores a 0,15.

En relación con lo anterior, destacan dos casos, ambos problemáticos debido a la inestabilidad de las laderas provocada por un terreno muy elevado y escarpado:

2.2.5 Estabilización de taludes en rellenos sanitarios

Comprender los componentes geotécnicos de la estabilidad de los taludes es absolutamente necesario para evitar cualquier problema geotécnico que pueda surgir durante las fases de explotación y cierre del proyecto. En circunstancias en las que las partículas de tierra o escombros son relativamente pequeñas en comparación con las dimensiones del talud, y en las que estas partículas no están limitadas en su forma, es probable que se produzca un fallo circular.

Los fallos relacionados con el mecanismo de fallo circular pueden tener lugar en rellenos de tierras altas de dos formas diferentes: fallo superficial y fallo cerca de la punta del talud, así como colapso general del suelo de cimentación. Ambos fallos pueden producirse simultáneamente (anexo D).

Utilizamos como ejemplo un deslizamiento que alcanzó una altura de 62 metros en el antiguo vertedero «Navarro» de Calí (Colombia). El deslizamiento estaba situado dentro del vertedero y tenía superficies de rotura aproximadamente circulares (véase el anexo D).

Según Palma (1995), es concebible que se formen planos de ruptura activos dentro de una masa de relleno de altura suficiente. Estos planos son responsables de causar desplazamientos continuos a través de la masa de relleno. Es posible que estos desplazamientos induzcan la fisuración y rotura de la superficie exterior, lo que deja al descubierto los escombros y permite la entrada de agua superficial. Esta infiltración de



agua provoca un aumento de los desplazamientos, lo que a su vez disminuye gradualmente la estabilidad del relleno.

Entre los datos cruciales figuran las características de resistencia, la presión intersticial, la densidad, la forma, el tipo de residuos, el método de eliminación y los sistemas de drenaje de biogás y lixiviados, es la que determina la fiabilidad de los estudios que se realizan sobre la estabilidad de los vertederos.

Para realizar un análisis de la estabilidad de los vertederos, es necesario recurrir a planteamientos que tengan en cuenta las características particulares del material.

2.2.6 Propiedades mecánicas en los rellenos sanitarios

La capacidad de comprender y cuantificar las características geotécnicas de los residuos sólidos urbanos que se almacenan en vertederos es una de las dificultades más importantes en el campo de la ingeniería geotécnica. Estos residuos, al igual que los suelos, pueden considerarse como una mezcla trifásica compuesta por fases sólidas, líquidas y gaseosas. Por otra parte, los porcentajes de cada fase en los residuos sólidos urbanos pueden diferir entre sí en función de los mecanismos responsables de la descomposición de la materia orgánica.

Hay una parte importante de los residuos sólidos que son biodegradables. Esto implica que pueden descomponerse en un entorno confinado, como un vertedero, y producir gases y lixiviados a lo largo del proceso.

Debido al elemento sólido y a la tensión efectiva que actúa sobre él, estos materiales, al igual que los suelos, tienen una resistencia y una rigidez derivadas de la parte sólida. Por ello, se supone que la cantidad de este componente sólido disminuirá con el tiempo y sufrirá una transformación biológica en líquidos y gases, lo que provocará una disminución tanto de la resistencia como de la rigidez del material.

Sostienen que la compresibilidad y la resistencia al cizallamiento son las cualidades mecánicas más esenciales que hay que tener en cuenta al examinar la estabilidad de los

taludes en los rellenos. Tras realizar pruebas sobre el terreno y estudios de laboratorio, varios investigadores han estudiado estas cualidades. Han descubierto que es difícil y costoso recopilar parámetros que sean a la vez representativos y fiables.

En cada fase del ciclo de vida de un vertedero -desde el diseño hasta el cierre, pasando por la explotación- debe realizarse un estudio de estabilidad, es vital tener un conocimiento sólido del comportamiento del material en términos de tensión-deformación y resistencia a lo largo de su duración. Para trabajar con este material, formado por capas alternas de residuos y cubierta, es necesario aplicar procedimientos que suelen utilizarse en geotecnia. Por otra parte, la determinación de las características de resistencia de la masa de residuos sólidos es una de las cuestiones más difíciles que se plantean en este tipo de análisis.

Se carece de un modelo conceptual coherente que describa el comportamiento de este material, Por ello, las conclusiones extraídas de las pruebas mecánicas realizadas con los residuos no pueden interpretarse fácilmente.

El término «residuos sólidos urbanos» (RSU) se refiere a los residuos compuestos por partículas individuales que han observado cohesividad. La resistencia de los residuos sólidos urbanos parece aumentar con el incremento de la carga normal aplicada, al igual que la resistencia de los suelos.

Aunque la basura sólida municipal tiene un alto contenido en materia orgánica y una estructura fibrosa, presenta características más típicas de los suelos orgánicos fibrosos que de los suelos arenosos convencionales. Esto se debe a la combinación de estas dos características.

Entre los elementos que influyen en las propiedades de resistencia de los residuos se encuentran.

- La proporción de materia orgánica y fibras presentes.
- Cuántos años tiene la basura sólida y cuánta decadencia ha experimentado.

- El tipo y la cantidad de material utilizado para la cobertura.
- Las condiciones climáticas, incluyendo la precipitación y las temperaturas ambientales.
- El período durante el cual se construyó el relleno, que influye en factores como el esfuerzo de compactación.

2.2.7 Análisis de compresibilidad

A la hora de planificar el trazado de un vertedero, la compresibilidad de los RSU es un factor crucial que hay que tener en cuenta. La capacidad de los vertederos aumenta como consecuencia de los importantes asentamientos que se producen durante la eliminación de los residuos sólidos. La necesidad de determinar los usos potenciales que podrían darse a los residuos en el futuro es otra de las razones por las que es importante medir estos asentamientos y el tiempo durante el que serán permanentes.

El ritmo de los asentamientos en un vertedero disminuye con el paso del tiempo, a pesar de que siguen siendo perceptibles durante varios años. Esto se debe a que la creación de asentamientos en un vertedero está influida por la edad del mismo. En vertederos que incluyen una gran cantidad de materia orgánica, se ha demostrado que los asentamientos son significativos en los primeros diez años de existencia del vertedero. El anexo E contiene información de referencia sobre la compresibilidad calculada del material comprimido.

2.2.8 Resistencia al corte

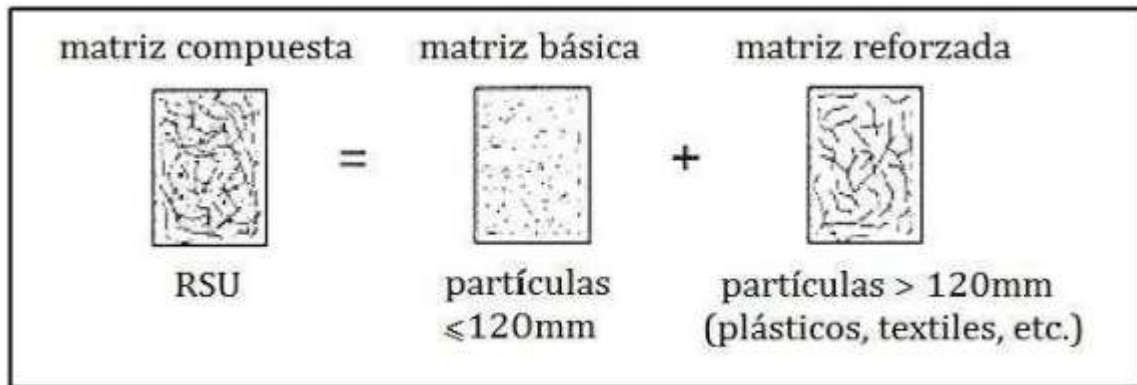
La bibliografía estudiada indica que, para realizar cálculos de estabilidad de taludes en rellenos, Es fundamental comprender los gráficos de tensión-deformación y la resistencia de los RSU. En este contexto, supondremos que si se tienen en cuenta las ideas de la mecánica clásica del suelo, los resultados de los experimentos realizados con RSU pueden interpretarse legítimamente.

Howland y Landva (2013), La bibliografía estudiada indica que, para realizar cálculos de estabilidad de taludes en rellenos, Se requieren sólidos conocimientos sobre los residuos sólidos urbanos y los diagramas tensión-deformación. Cuando se consideran conceptos de la mecánica clásica de suelos, se presume que los experimentos realizados con RSU pueden interpretarse legítimamente en aras de esta discusión.

Kockel (1995). El modelo propuesto para los RSU se basa en una composición matricial, lo que significa que los residuos se componen físicamente de dos matrices: una con comportamiento friccional y formada por material fino y granular, y otra con resistencia a la tracción y componentes fibrosos como plásticos, cuero, textiles, etc. (Figura 1). El comportamiento mecánico de los RSU es bastante similar al de los suelos reforzados con fibras. Esto se debe a que, a medida que aumenta la deformación, el material se vuelve más resistente.

Figura 1

Residuos solidos urbanos



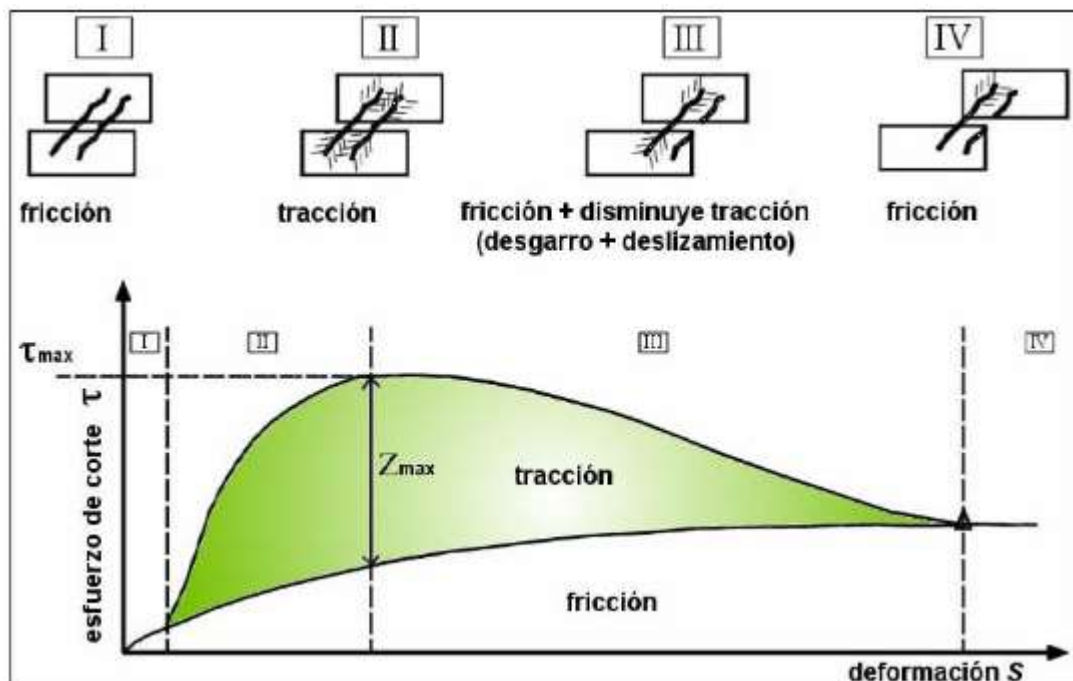
Kolsch (1995A) a partir de los resultados obtenidos en ensayos de cizallamiento y triaxiales realizados con residuos sólidos, presenta conceptos equivalentes a los de los rellenos de tierra armada. Los resultados indican que el SR mostraría un comportamiento similar al de los rellenos de tierra reforzada. Según esta teoría, los componentes fibrosos de los residuos podrían producir esfuerzos de tracción. Estas fuerzas vendrían definidas

por la interacción entre la materia de los residuos y las fibras, que variaría con la tensión habitual. La ecuación de la resistencia al cizallamiento consta de dos partes: las fuerzas de fricción del plano de cizallamiento y las fuerzas de tracción o cohesión de las fibras.

En la figura 2 Cuando se utiliza la curva tensión-deformación para representar la interacción entre estas dos fases, se observa que sólo se activan las fuerzas de rozamiento (Fase I) para deformaciones menores. Este es el caso cuando se utiliza la curva tensión-deformación. A medida que aumenta el grado de deformación, las fibras empiezan a estar sometidas a fuerzas de tracción, lo que tiene lugar durante la Fase II. Hasta que las fuerzas de tracción alcanzan su punto máximo. La resistencia a la tracción, que está directamente relacionada con la resistencia a la tracción de las fibras o su adherencia al material de desecho, aumenta hasta alcanzar su valor máximo.

Figura 2

Curva de residuos sólidos urbanos



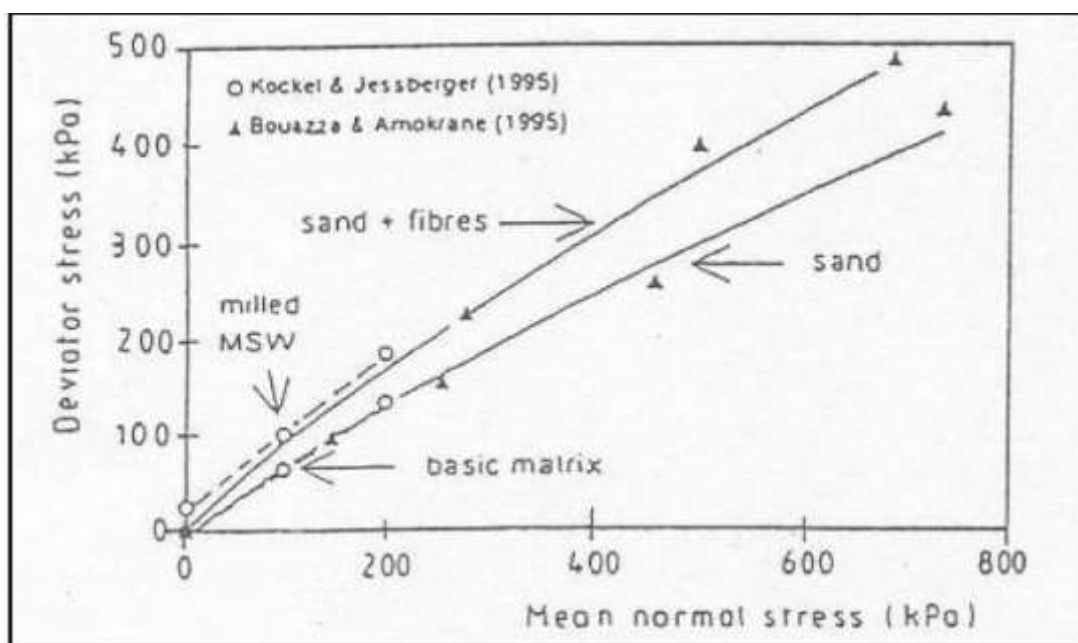
Kockel & Jessberger (1997). Se demostró que eran necesarias deformaciones sustanciales para activar la resistencia al cizallamiento de la matriz fundamental. Un determinante importante del valor de cohesión es la matriz reforzada. Según una definición, este tipo de cohesión resulta de la elevada resistencia a la tracción de los elementos de refuerzo. Además, su activación requiere deformaciones importantes, y comienza a surtir efecto cuando las deformaciones axiales son superiores al veinte por ciento. En este punto, la resistencia a la fricción se activa prácticamente por completo.

En sus investigaciones con residuos formados únicamente por «matriz básica» y «matriz reforzada», Kockel y Jessberger (1997) hallaron los siguientes resultados (Figura 3 a continuación). Estos resultados han llevado a los autores a extraer las siguientes conclusiones:

Una envolvente de ruptura lineal es una característica exclusiva de las RSU. Dado que las envolventes de ruptura de la «matriz básica» y de la «matriz reforzada» son paralelas, puede deducirse que el refuerzo influye en el valor de cohesión más que en el comportamiento friccional de la RSU.

Figura 3

Parámetros de sólidos



En consecuencia, sobre la base de la información que se ha proporcionado en esta parte acerca de la resistencia de los residuos sólidos, es posible llegar a la conclusión de que es posible desarrollar una técnica, sobre la evaluación de la estabilidad de taludes en RSU. La ecuación 4 describe los criterios de rotura de Mohr-Coulomb, y este enfoque puede evaluar la resistencia al cizallamiento de los RSU basándose en ella. Kockel y Jessberger (1993) se encuentran entre los investigadores que han reconocido el uso del método para evaluar la resistencia de los RSU, a pesar de que el material presenta un comportamiento mecánico distinto al de los suelos.

$$r = c' + \sigma' \cdot \tan \phi'$$

Donde:

- r = Resistencia al corte en la superficie de fallo
- c' = Cohesión efectiva
- σ' = Esfuerzo normal efectivo en la superficie de fallo
- ϕ' = Ángulo de fricción efectivo

Al igual que ocurre con los suelos, una de las cuestiones más importantes es la identificación de los parámetros de resistencia. En la siguiente parte se describirán tres enfoques diferentes para recopilar estos parámetros, que se analizan debido a la importancia de los mismos.

2.2.8.1 Determinación de parámetros resistentes

El procedimiento para establecer los parámetros de resistencia de los residuos sólidos urbanos se ve dificultado por la gran variedad de factores que intervienen. Entre



estos factores se encuentran la gran heterogeneidad de los residuos y sus variaciones en función de las condiciones climáticas locales. Además, no es fácil obtener muestras que reflejen fielmente las circunstancias reales del emplazamiento. El problema se agrava porque actualmente no existen métodos ampliamente aceptados de muestreo y análisis de residuos sólidos, lo que agrava el hecho de que las características geotécnicas de estos materiales pueden cambiar con el tiempo debido a la descomposición y otros factores.

La determinación de estas características puede llevarse a cabo mediante la utilización de estudios de laboratorio (incluidos ensayos de cizallamiento directo y triaxiales), evaluaciones in situ y análisis retrospectivos de los datos recogidos sobre el terreno..

ensayos de laboratorio:

- ensayos de corte directo

Por lo general, estos exámenes se llevan a cabo en muestras que previamente han sido sometidas a deformación. El mayor reto es obtener muestras representativas que cumplan las normas de calidad, que se ven afectadas por la composición del material y el tamaño del equipo empleado. Una buena muestra tendrá una distribución uniforme del tamaño de las partículas.

Manassero et al. (2006) Según ellos, los ensayos de cizallamiento directo en laboratorio no captan la esencia del comportamiento de la basura de los vertederos. Por otro lado, reconocen que el método es una aproximación preliminar útil que puede utilizarse para construir procedimientos que sean más precisos.

Varios autores han demostrado que las curvas de tensión-deformación adquiridas a partir de ensayos de cizallamiento directo revelan un efecto de refuerzo con deformaciones crecientes. Sin embargo, ninguna de estas curvas demuestra la existencia de una resistencia máxima (para más información, véase el anexo F).

- Triaxiales

Los resultados de los ensayos triaxiales, que son comparables a los de los ensayos de cizalladura directa, indican que las RSU son capaces de sufrir deformaciones importantes sin alcanzar finalmente sus tensiones últimas. En consecuencia, los criterios de resistencia suelen establecerse para niveles de deformación aceptables, situándose los valores más comunes entre el 15% y el 20% (véase el anexo F).

Ensayos in situ:

Las pruebas in situ son otro método para recopilar las características de resistencia. Estas pruebas permiten recopilar datos que reflejan mejor las circunstancias reales del relleno y establecer correlaciones con los resultados obtenidos en el laboratorio. Las pruebas de penetración y las pruebas de cizallamiento directo a gran escala son dos de las técnicas que se utilizan en estas investigaciones in situ.

Entre los diversos tipos de pruebas de penetración, las más populares son las pruebas de penetración dinámica. Estas pruebas facilitan la creación de un perfil estratigráfico y permiten evaluar la compacidad del relleno a distintas profundidades. Para examinar cómo varían las propiedades de resistencia de un relleno a lo largo del tiempo, es posible realizar estas pruebas periódicamente y comparar los resultados obtenidos. El CPTdin destaca entre los métodos empleados por su facilidad de uso, bajo coste y rapidez. También se utiliza habitualmente en proyectos similares a los que se están llevando a cabo en el país. En el Anexo F se ofrece información detallada sobre este examen.

Una fuente común de dificultad de la prueba es la presencia de materiales duros, que pueden provocar picos notables en la resistencia medida. Estos materiales incluyen madera, piedra, metal y muchos más.

Véase en el Anexo F un gráfico que muestra los estudios de penetración dinámica realizados en importantes rellenos chilenos como Santa Marta y Loma las Colorados, que muestran un aumento lineal y progresivo de la resistencia a la penetración con la profundidad. Las líneas del gráfico indican que la resistencia a la penetración aumenta poco a poco a medida que se profundiza.

Los investigadores han realizado pruebas de cizallamiento directo en enormes bloques de basura sólida municipal, además de pruebas de penetración, para evaluar la resistencia de la basura. Estas pruebas se realizaron in situ. Entre los ejemplos más famosos está la investigación realizada por Withiam y colegas en 1995, citada por Carvalho (1999) en el Apéndice F

Back analysis:

En cuanto a la estimación de las características de resistencia de las RSU, el análisis retrospectivo de fallos es una opción adicional que puede considerarse. A partir de datos conocidos que cumplen los criterios de estabilidad de la estructura, es decir, que el factor de seguridad es mayor que uno, se calculan en esta técnica los valores de «c» y «φ».

En el proceso de utilización de estos parámetros derivados, es de suma importancia tener en cuenta que existe un número infinito de combinaciones de «c» y «φ» que están de acuerdo con el equilibrio. Esto se debe al hecho de que comenzamos con una ecuación de equilibrio conocida que implica dos factores desconocidos y tiene un factor de seguridad que es igual o mayor que uno.

La Tabla 1 contiene cinco informes de un total de veintisiete parámetros que han sido documentados en la literatura técnica por diversos escritores. En ellos se detallan y explican los distintos métodos que pueden utilizarse para determinar los parámetros de resistencia de los residuos sólidos urbanos. Los datos específicos de estos informes figuran en el Anexo G.

La tabla 5 muestra una amplia variedad de valores posibles, y el anexo G proporciona información adicional para completarla. Tanto el ángulo de fricción como la cohesividad pueden adoptar valores comprendidos entre cero y ocho toneladas por metro cuadrado. La gran variedad de factores que pueden afectar a los resultados de un ensayo explica esta variación. Consideraciones como la edad de la muestra, el grado de descomposición, la composición de los residuos, el tamaño de la muestra, la densidad y el

carácter intrínsecamente cambiante de los residuos, el procesado, así como el método de ensayo y la configuración del ensayo, son algunos de los elementos que se tienen en cuenta.

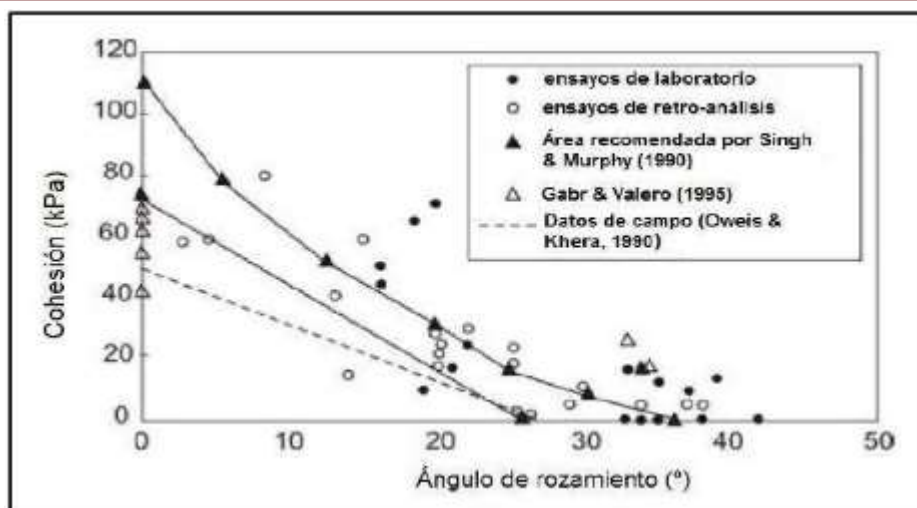
2.2.8.2 Criterios de rotura para rellenos sanitarios

Varios autores han descrito los parámetros de resistencia al cizallamiento basándose en datos recogidos en experimentos in situ, análisis retrospectivos y pruebas de laboratorio. Los investigadores han calculado estas cifras analizando las propiedades mecánicas de los RSU. Debido a ello, la resistencia al cizallamiento de los RSU se define a menudo utilizando los criterios de Mohr-Coulomb.

Desde que Singh y Murphy (1990) fueron los pioneros en esta técnica, la presentación de los resultados en gráficos de cohesividad frente a ángulo de fricción se convirtió en algo habitual. Estos autores agregaron los datos de los ensayos de laboratorio, los ensayos in situ y los análisis retrospectivos realizados hasta ese momento en un único gráfico y ofrecieron un intervalo recomendado para la planificación del proyecto (véase la figura 4). El gráfico se basaba en los datos recopilados anteriormente. Los datos suministrados muestran una dispersión significativa, como demuestra este gráfico.

Figura 4

Rangos sólidos urbanos



Los resultados son significativamente dispersos, como se observa en la figura 4. Palma (1995) destaca ciertas tendencias a este respecto, entre ellas:

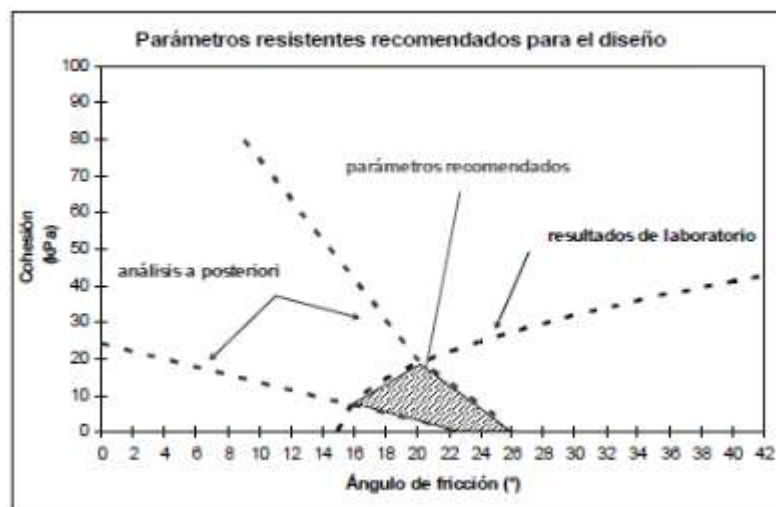
- Los datos obtenidos en las pruebas de laboratorio indican que se produce una cantidad significativa de fricción. Es esencial tener en cuenta que estos valores pueden seguir aumentando si también aumenta el nivel de deformación permitido. La mayoría de los ángulos de fricción se sitúan entre 25 y 35 grados. A pesar de que la recopilación inicial de Singh y Murphy (1990) muestra $\phi=0$ grados, que es indicativo de un ensayo no consolidado-no drenado, y de que la interpretación ha impuesto esta condición, no se han documentado valores inferiores a 17 grados. Aunque la cohesividad medida es muy variada, suele ser significativamente inferior a 30 kPa.
- En la región de ángulos de fricción bajos, las curvas relacionadas con los datos de campo muestran divergencias, lo que ha dado lugar a valores de cohesión que oscilan entre veinte kPa y más de cien kPa cada una. Por otra parte, cuando los ángulos de fricción son superiores a 15 grados, todas las curvas coinciden. Los resultados de campo tienden a situarse en el intervalo inferior de los valores

obtenidos en los estudios de laboratorio cuando se trata de esta región (donde ϕ es superior a 15 grados.

Basándose en estos descubrimientos, Palma (1995) sugiere un nuevo esquema que hace hincapié en la región que se recomienda diseñar. Este esquema se representa en la figura 5. La intersección de la gama de valores obtenidos a partir del análisis retrospectivo y la región que corresponde a los resultados de las pruebas de laboratorio es lo que define esta zona, ya que es el punto de intersección. Utilizando los parámetros de resistencia derivados de la región sombreada del diagrama, A la luz de estos resultados, el autor sugiere que las RSU apliquen una envolvente de ruptura lineal.

Figura 5

Criterios de estabilidad



criterio de kavanzanjan

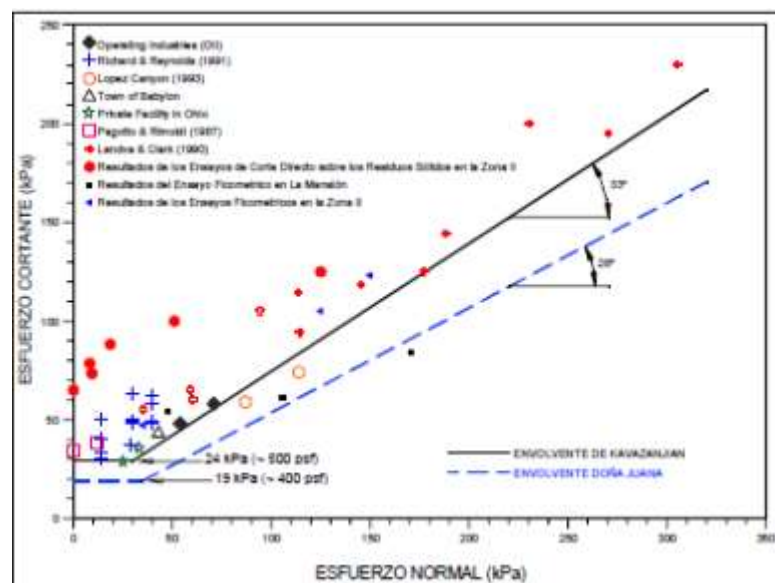
La figura 6 muestra el disolvente de aplastamiento bilineal propuesto para la basura que Kavazanjian et al. (1995) desarrollaron basándose en la bibliografía actual sobre resistencia al aplastamiento, que incluye datos de experimentos in situ, ensayos directos de aplastamiento en laboratorio y análisis retrospectivos. Este disolvente es similar al

utilizado para suelos reforzados. Los valores siguientes son formas de expresar este criterio de ruptura:

- $\sigma_n < 30$ kPa: $\phi=0^\circ$ $c=24$ kPa.
- $\sigma_n > 30$ kPa: $\phi=33^\circ$ $c=0$ kPa.

Figura 6

Criterios de estabilidad 2



criterio de manassero

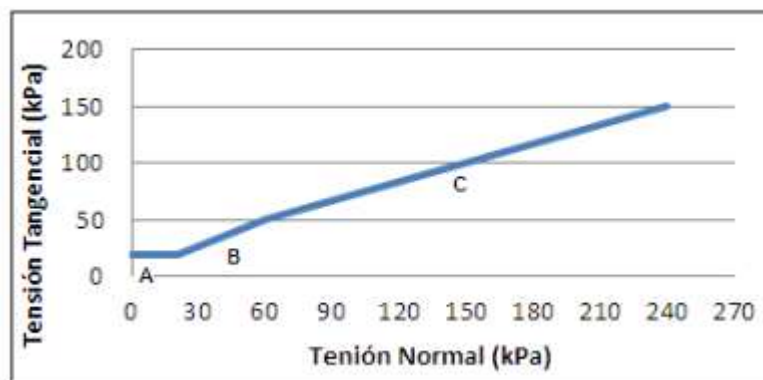
Este autor en particular sostiene que el concepto de Kavazanjian et al. (1995) hace posible que las RSU tengan una envolvente de ruptura trilineal, En función del esfuerzo típico que se ejerce, se distinguen tres zonas. La figura 7 proporciona una representación visual de esta proposición, que se complementa con los valores siguientes::

- La zona A abarca tensiones normales extremadamente bajas, que van de 0 a 20 kPa, y se caracteriza por un valor de cohesión de 20 kPa para indicar que el comportamiento de los residuos sólidos urbanos (RSU) puede entenderse como exclusivamente cohesivo..

- En la Zona B, se incluyen las tensiones normales que se sitúan entre el rango bajo y moderado, concretamente entre 20 y 60 kPa. Para este rango concreto, se supone que no hay cohesión y que el ángulo de fricción es de 38 grados.
- Existen fuertes tensiones normales en la zona C, superiores a 60 kPa. En estas circunstancias, la cohesividad se ajusta a 20 kPa, y se determina que el ángulo de fricción es de unos 30 grados.

Figura 7

Criterios de estabilidad 3



Debido al hecho de que estos diagramas son un reflejo de los resultados globales de las pruebas de laboratorio, las pruebas in situ y los análisis retrospectivos, es esencial tratar las decisiones sobre los parámetros de estos diagramas con extrema precaución. Las mediciones de c y ϕ son posibles gracias a los resultados de los experimentos de laboratorio, que dan una envolvente en el plano de Mohr. No obstante, teniendo en cuenta tanto los ensayos in situ como las evaluaciones retrospectivas, Cabe destacar que la condición de equilibrio puede satisfacerse con un número infinito de combinaciones.



2.2.9 Propuesta metodológica de diseño

2.2.9.1 Factores relevantes para el diseño de taludes

Se puede concluir, a partir del análisis realizado, a saber, las conclusiones de Qian et al. (2002) y Shafer et al. (2003), que fueron señaladas por Espinace (2005) como los factores más significativos que determinan la estabilidad de los taludes. Estos factores son pertinentes para la presente investigación porque contienen características que incluyen la geometría del talud, el asentamiento del material, la resistencia al corte del material, las presiones intersticiales, los procesos de relleno y las circunstancias de carga. A continuación se ofrecen explicaciones detalladas de estos conceptos, empezando por la geometría del talud: Factores como las circunstancias de la carga, la resistencia al cizallamiento del material de relleno, el ángulo de la pendiente y la altura, están estrechamente relacionados con este componente, que puede modificarse. Además, este factor está estrechamente relacionado con las condiciones de carga. Por su relevancia, es de suma importancia en el diseño geométrico estable del vertedero. Dado que los vertederos suelen diseñarse con grandes alturas para aprovechar al máximo el espacio disponible, la regla general es que el ángulo de inclinación total debe reducirse en proporción a la altura del vertedero. El asentamiento del material puede tanto estabilizar como introducir variables que desestabilicen el RS. Ambos resultados potenciales son posibles. La infiltración de agua superficial en el relleno se ve favorecida por zonas localizadas de asentamiento y puntos bajos, el nivel piezométrico y la presión intersticial en el interior del material de desecho aumentan en consecuencia. La resistencia al cizallamiento del material es: Junto con una menor presión intersticial, la elevada resistencia al cizallamiento del relleno ayuda a evitar la formación de superficies de deslizamiento en los taludes del relleno. Los factores que pueden controlarse pero no modificarse directamente son las presiones intersticiales, los procedimientos de relleno y las condiciones de carga. Entre estas consideraciones se encuentran las condiciones de carga. Tensiones superficiales entre celdas: La estabilidad de los taludes puede verse

gravemente comprometida debido a una disminución de la resistencia al cizallamiento causada por un exceso de presión de agua en los espacios intersticiales del relleno.

Durante las operaciones de relleno hay que tener en cuenta una serie de factores críticos, como la regulación del nivel de saturación del relleno y los sistemas de inyección hidráulica, aire y extracción de gas, el nivel de lixiviados y la presión intersticial, y la permeabilidad de la cubierta. Esto se debe a que estos factores tienen un impacto significativo en la estabilidad del relleno. Hay una serie de elementos que determinan el estado de carga de los vertederos, lo que a su vez afecta a su estabilidad. Estos factores incluyen el peso del propio vertedero, así como cualquier carga externa que se aplique. Cuando se aumenta la altura del relleno, también aumenta la carga vertical que se ejerce sobre los residuos ya presentes, así como sobre las juntas y los materiales de base.

2.2.9.2 Supuestos adoptados para el análisis de estabilidad

Según los resultados de la investigación realizada, los planos de fractura activos que pueden formarse dentro de la masa de residuos de relleno tienen tendencia a producir deslizamientos avanzados. Los corrimientos de tierras son responsables de la creación de fisuras y aberturas en la superficie, que pueden dejar al descubierto restos y permitir la entrada de agua superficial. La estabilidad del relleno puede disminuir gradualmente como resultado de esta infiltración, lo que también puede hacer que crezca el desplazamiento. En muchos casos, el deslizamiento puede deberse al peso propio del material. Esto se debe al hecho de que el material, a pesar de ser muy ligero por sí mismo, se vuelve más pesado cuando se le incorpora la tierra de cobertura y la saturación.

El patrón de colapso de los taludes creados con RSU es comparable al de los suelos. La mecánica de fallo en este patrón es rotatoria, y el patrón se caracteriza por el deslizamiento sobre una superficie de fallo circular o curvilínea.

A pesar de que los residuos sólidos urbanos no presentan las características típicas de los materiales geotécnicos convencionales, la evaluación de su estabilidad se lleva a



cabo a escala nacional e internacional empleando los procesos y principios geotécnicos estándar. Este es un punto importante a tener en cuenta. Por lo tanto, esto no compromete en absoluto la validez técnica de los resultados que se producen al aplicar estos procesos.

Según los criterios establecidos por el especialista encargado del estudio, se aconseja que el análisis de estabilidad se realice sobre los perfiles que se consideren indicativos de las circunstancias mecánicas más desfavorables. Estos perfiles se obtendrán utilizando la geometría propuesta o un levantamiento topográfico.

La naturaleza del trabajo exige la aplicación de criterios de diseño extremadamente meticulosos para llevar a cabo la investigación. En cuanto a parámetros, presiones internas de llenado, geometría y requisitos sísmicos, los escenarios de cálculo que se van a tener en cuenta deben tratar de representar condiciones de baja probabilidad. Así pues, para llevar a cabo el estudio, se sugiere utilizar una búsqueda sistemática estándar para encontrar las superficies de fallo circulares con el factor de seguridad más bajo. Al realizar esta búsqueda, es esencial considerar el conjunto óptimo de superficies de deslizamiento, parámetros de resistencia, geometría del talud, nivel freático y criterios sísmicos. Sugerimos hacer los números mediante la técnica de equilibrio límite bidimensional (con perfiles), retocando el análisis de Bishop como se indica en el Anexo H, y empleando un software específico para el trabajo. A continuación encontrará los supuestos que guiarán el análisis:

Dado que los materiales constituyentes del talud son homogéneos, las cualidades mecánicas no se ven afectadas por la orientación de la carga aplicada. Esto se debe a que los estudios realizados en varios vertederos de todo el país por el Grupo de Geotecnia de la PUCV han demostrado que, a pesar de que un relleno evaluado pueda ser altamente heterogéneo, sus propiedades mecánicas se mantienen constantes independientemente de la dirección en la que se aplique la carga, Los resultados que se obtuvieron de las pruebas de penetración que se llevaron a cabo en diferentes sitios dentro de un relleno demuestran una consistencia entre ellos, lo que sugiere que, aunque la masa puede exhibir heterogeneidad a pequeña escala, se comporta de manera homogénea a gran escala



- La cohesividad y el ángulo de fricción del material serán los factores que afectarán a la resistencia al cizallamiento del material. Para establecer una conexión entre estos parámetros se utiliza el criterio de fallo lineal de Mohr-Coulomb, y se supone que permanecen invariables al aumentar la profundidad.
- Para reproducir las presiones intersticiales producidas por el lixiviado y el biogás, se utilizará un nivel piezométrico. Este nivel tendrá en cuenta que la masa de residuos está totalmente saturada. Dado que se presume que el vertedero disponía de un sistema eficaz de extracción y circulación de lixiviados y biogás, este escenario se considera conservador.

2.2.10 Criterios de diseño

Para determinar si la estabilidad de los taludes cumple las normas de aceptación, se sugiere un factor de seguridad estático de 1,5 (FS Static 1,5) y un factor de seguridad sísmica de 1,3 (FS Seismic 1,3). De acuerdo con los requisitos del artículo 15 del D.S. 189 (2005) del Ministerio de Sanidad, debe hacerse lo siguiente, esto garantiza que, en caso de que falle el talud, no se produzcan daños a personas, equipos o bienes, y que no se causen daños significativos al medio ambiente.

Se denomina evento sísmico de características variables a un fenómeno vibratorio complicado que genera fuerzas inerciales cortas de características variables. En vista de ello, debe realizarse un estudio dinámico para analizar las implicaciones reales que tiene sobre la estabilidad del talud. Por otra parte, el alto nivel de complejidad teórica y analítica de estas investigaciones restringe con frecuencia su uso o no siempre sirve para justificar su utilización completa. Por este motivo, se recomienda un enfoque pseudoestático para su aplicación en el análisis sísmico. Este enfoque considera la posibilidad de que el impacto dinámico de un evento sísmico real pueda modelarse como una fuerza inercial estática que presiona sobre la estabilidad del talud.



Los coeficientes sísmicos (C.S.) que se utilizan para las evaluaciones pseudoestáticas son actualmente reconocidos universalmente y oscilan entre la mitad y dos tercios de la aceleración máxima efectiva que prescribe la NCh 433 de 1996, modificada en 2009. Para el análisis de estabilidad sísmica, sin embargo, se aconseja utilizar un C.S. de 0,2, que es mayor que el valor requerido por la NCh 433 para las zonas 1 y 2. Esto se debe a que el C.S. es mayor que el valor requerido por la NCh 433 para las zonas 1 y 2. Esto se debe a que el C.S. cuenta con el sello de aprobación de la ISSMGE, la Sociedad Internacional de Mecánica del Suelo e Ingeniería Geotécnica.}

Como criterio se proponen diversas hipótesis de cálculo. Esto se debe al hecho de que diversas experiencias documentadas en la bibliografía indican que la ubicación del nivel freático dentro del vertedero es el componente más importante para determinar la inestabilidad de una situación de vertido, Este nivel debe mantenerse dentro de un rango determinado para garantizar la estabilidad del relleno en caso de sismo común. En consecuencia, se aconseja examinar las dos posibilidades de cálculo siguientes para el análisis de estabilidad:

- Se realiza una evaluación de la estabilidad del talud en circunstancias estáticas y pseudoestáticas para un estado drenado, teniendo en cuenta los perfiles más relevantes basados en la topografía o la geometría prevista, así como las visitas a la zona de estudio y las características de resistencia definidas.
- En un segundo escenario, se repetiría el análisis anterior, pero esta vez añadiendo la consideración de las variaciones del nivel piezométrico provocadas por los lixiviados y el biogás que se producen como consecuencia de un sistema de extracción insuficiente.



2.2.11 Deducción y parámetros geotécnicos

Una vez examinados los puntos anteriores, es esencial hacer hincapié en la importancia de la derivación de los parámetros geotécnicos al realizar el estudio de estabilidad.

En cuanto a las pruebas in situ, se aconseja lanzar una campaña experimental para obtener una comprensión cualitativa de las características geotécnicas del relleno. Esto facilitará la estimación de los parámetros de resistencia que se utilizarán. En el transcurso de la campaña se llevarán a cabo pruebas de penetración dinámica del tipo CPTdin. Tanto la elaboración de un perfil estratigráfico como la evaluación del grado de compacidad del relleno a distintas profundidades son posibles resultados de este tipo de pruebas.

Se recomienda la colocación de «piezómetros» en los mismos lugares donde se realizarán los ensayos CPTdin, además de los ensayos de penetración dinámica que se llevarán a cabo. Ello permitirá conocer los niveles piezométricos y, en consecuencia, calcular las presiones en los espacios intersticiales del relleno. Para construir estos piezómetros se utilizarán tubos de PVC de 32 milímetros de diámetro. Estos tubos se recubrirán con un geotextil y se perforarán a lo largo de una longitud específica en la parte inferior. Los resultados de las pruebas de penetración se utilizarán para estimar la profundidad de los piezómetros que se utilizarán.

Se llevará a cabo un análisis de sensibilidad utilizando los datos obtenidos de la campaña experimental, la información de base disponible sobre el vertedero que se va a examinar y la información que se está recopilando del proyecto actual. Esto se hará basándose en la información presentada anteriormente. Palma (1995) calculó los valores que se utilizarían en esta investigación para estimar los parámetros geotécnicos de diseño para la estabilidad del material de desecho (véase la Figura 5).

2.2.12 Residuos sólidos

Un material es considerado residuo sólido si no posee ningún valor económico o utilidad para la persona que lo posee, convirtiéndose así en desecho. Según Samudio (2018), también se puede utilizar para referirse a cualquier sustancia u objeto que se encuentre en estado sólido y que haya sido desechado, abandonado o rechazado por completo. (Samudio, 2018).

Un material es considerado residuo sólido si no posee ningún valor económico o utilidad para la persona que lo posee, convirtiéndose así en desecho. Según Samudio (2018), también se puede utilizar para referirse a cualquier sustancia u objeto que se encuentre en estado sólido y que haya sido desechado, abandonado o rechazado por completo.

La ecología, la salud pública y la estética se están resintiendo debido a la creciente cantidad de basura y a la escasez de lugares adecuadamente gestionados para su eliminación final. Además, la existencia de recolectores de basura sin licencia que recuperan objetos para venderlos posteriormente repercute no sólo en la sociedad, sino también en la economía.

2.2.13 Clasificación de los residuos sólidos

2.2.13.1 Clasificación de residuos por su origen

Se trata de una clasificación sectorial que no impone ninguna limitación al número de categorías o grupos factibles en función del sector. Para su comodidad, a continuación, se enumeran algunas de estas categorías: (Paredes, 2018).

- Industriales.
- Domiciliarios, urbanos o municipales.
- Radiactivos.
- Hospitalarios o de Centros de Atención de Salud.



- De construcción.
- Agrícolas, ganaderos y forestales.
- Mineros. Portuarios.

2.2.13.2 Clasificación de residuos por su composición

- Los residuos biológicos de plantas y animales se conocen como residuos orgánicos y producen gases como el metano y el dióxido de carbono cuando se descomponen. Además, los residuos orgánicos liberan lixiviados durante los procesos de tratamiento y eliminación. Es posible transformar estos residuos en abonos y enmiendas del suelo, como el compost, el humus y el estiércol, siempre que se gestionen de forma adecuada. (Ramos, 2014).

- El término «residuos inorgánicos» se refiere a los residuos que no son capaces de ser descompuestos por un organismo y proceden de procesos industriales o de fuentes minerales. Las técnicas de reciclaje facilitan la reutilización de materiales. (Ramos, 2014).

2.2.14 Diagnóstico del manejo de residuos sólidos

Para analizar la gestión de residuos sólidos en un determinado municipio y establecer las alternativas y estrategias disponibles para reducir el impacto ambiental de los residuos sólidos urbanos, es necesario contar con información completa, fidedigna y actualizada sobre la situación. Es de suma importancia determinar el tipo de información que puede recopilarse a nivel local y averiguar en qué circunstancias es necesario modificar los datos de los municipios que son comparables. Esto se debe a que la información disponible no suele alcanzar el nivel adecuado de cantidad y calidad. (Tello et al., 2018)

Los problemas que se desarrollan desde la generación de la basura hasta su eliminación pueden identificarse mediante un diagnóstico de la gestión de los residuos

sólidos urbanos. La gestión de los residuos sólidos urbanos involucra a varios sectores y actores; esta investigación es útil para desarrollar estrategias óptimas entre ellos. según MINAM (2015).

2.2.15 Relleno sanitario

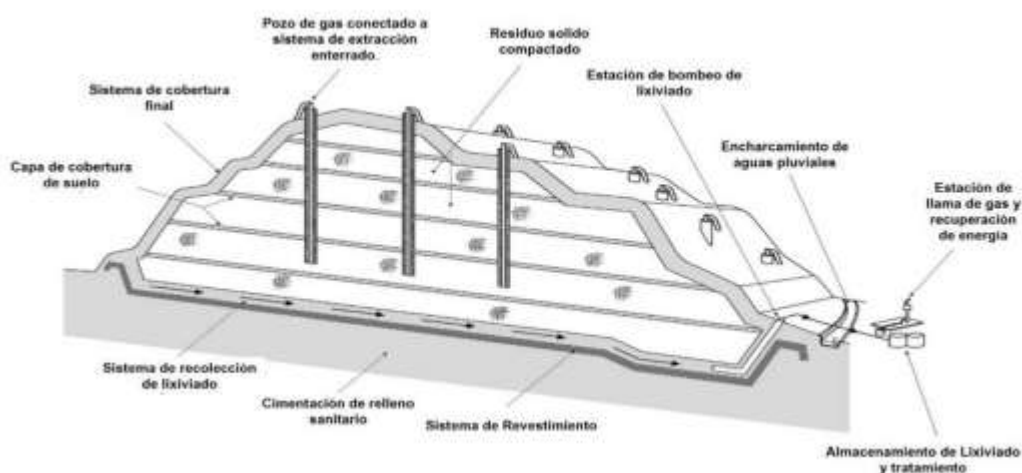
El vertido es el último recurso para la eliminación de residuos sólidos, ya que emplea conceptos de ingeniería para comprimir la basura, cubrirla diariamente con capas de tierra y minimizar su volumen. Ni el procedimiento ni las secuelas de este planteamiento suponen peligro alguno para el medio ambiente o la salud y seguridad públicas. Además, tiene en cuenta los posibles problemas que puedan surgir de la descomposición de los residuos orgánicos en el vertedero, incluidos los líquidos y los gases (Fernández, 2010).

2.2.16 Componentes de un relleno sanitario

Los vertederos constan de varios componentes esenciales, incluidos los revestimientos, los sistemas de gestión de lixiviados y gases, y la administración del vertedero una vez finalizada la eliminación de la basura. Los componentes principales del vertedero se desglosan en sus respectivas categorías en la Figura 8. (Townsend, 2015).

Figura 8

Componentes de relleno sanitario



2.2.16.1 Cimentación y revestimientos

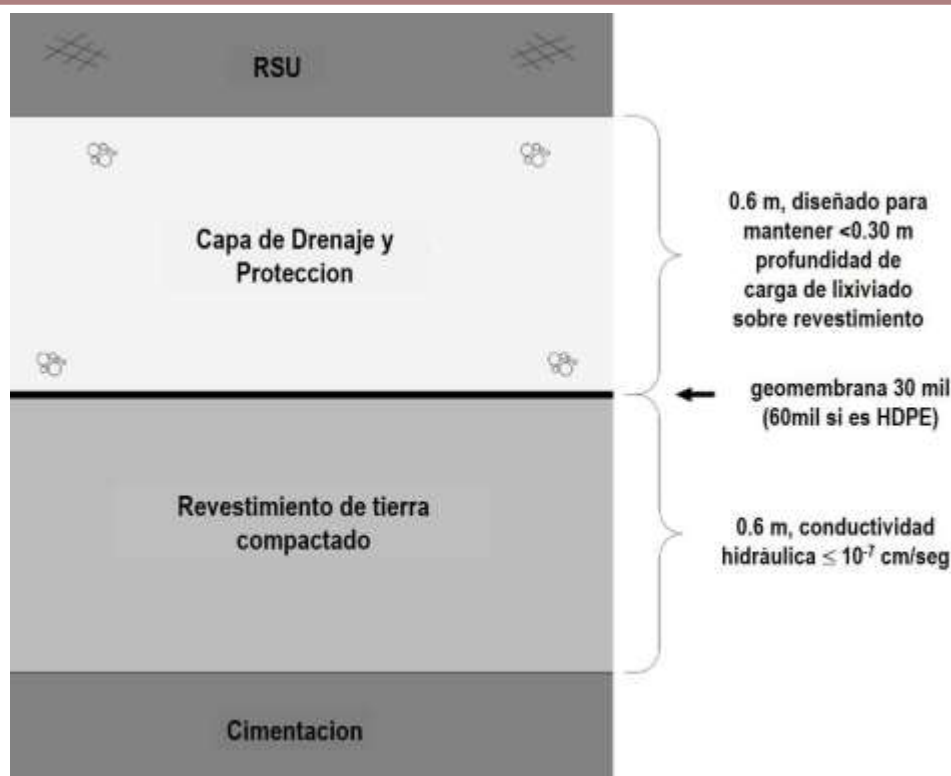
El término «lixiviado» se refiere al líquido que se produce cuando el agua entra en contacto con los residuos, ya sea lluvia, flujo de aguas subterráneas o humedad ya presente en la basura. Esta agua disuelve los productos químicos y las partículas en suspensión de los residuos, dando lugar a la formación del líquido. Cuando se vierte basura en la tierra, casi siempre se produce lixiviado.

Los operadores e ingenieros de vertederos suelen emplear capas de barrera para detener o restringir considerablemente el flujo de lixiviados al medio ambiente circundante. Una capa que se coloca encima de un vertedero y que está diseñada para impedir que los gases escapen y que el agua entre y genere más lixiviados suele denominarse tapón. Esto es así a pesar de que una capa de barrera a veces se denomina liner.

Antes de instalar el revestimiento, es crucial realizar una evaluación exhaustiva del terreno sobre el que se construirá el relleno para asegurarse de que los suelos y la geología subyacente (los cimientos) pueden soportar el peso de los materiales de desecho y la infraestructura asociada. Esta evaluación debe realizarse antes de instalar el liner. El riesgo de actividad sísmica o la posibilidad de que se produzcan socavones es otro factor que los ingenieros y geólogos deben tener en cuenta. Además, deben prever la velocidad a la que los cimientos pueden asentarse o consolidarse con el paso del tiempo. En determinadas circunstancias, podría ser necesario reforzar los cimientos empleando técnicas como la inyección de lechada o la compactación dinámica profunda. Puede ser necesario excavar y retirar los suelos ya presentes, y a veces será necesario transportar más suelos hasta el lugar. Antes de la instalación de los materiales de revestimiento, se preparará la superficie de los cimientos para obtener las elevaciones de superficie necesarias para cumplir los requisitos de diseño del sistema de drenaje..

Figura 9

Revestimientos



En cuanto a los materiales de construcción, los sistemas de revestimiento utilizan principalmente geosintéticos y componentes del suelo de baja permeabilidad. Para cumplir los requisitos normativos o de rendimiento necesarios, estos materiales pueden utilizarse por separado o combinados. En un gran número de países, es obligatorio cumplir una serie concreta de normas de diseño y construcción. La figura 2 ilustra los requisitos mínimos que se han impuesto a nivel federal para los vertederos designados para gestionar residuos sólidos urbanos (RSU) en Estados Unidos. (Koerner, 2012; Qian, Koerner, & Gray, 2002).

Los requisitos medioambientales de Perú están recogidos en las normas y leyes del país. Para cumplir estas normas, los vertederos deben cumplir los siguientes requisitos: (MINAM, 2017):

- a) Para evitar la contaminación ambiental causada por los lixiviados (con una velocidad de $k \leq 1 \times 10^{-6}$ cm/s y un espesor mínimo de 0,40 m), es necesario impermeabilizar la base y los taludes del relleno. Sin embargo, esto es necesario en situaciones en las que se dispone de una barrera geológica natural para este



fin, y es necesario proporcionar asistencia técnica para esta barrera. Debe utilizarse una geomembrana con un espesor mínimo de 1,2 milímetros junto con la utilización de geotextil entre la geomembrana para garantizar la impermeabilización de la base y los taludes del relleno en caso de que no se cumplan las condiciones especificadas anteriormente.

b) Sistema de drenaje de lixiviados mediante una instalación de tratamiento de lixiviados o un sistema interno de recirculación de lixiviados.

c) desagües y chimeneas con el fin de controlar y evacuar el gas.

d) El agua de escorrentía de la superficie se recoge y se dirige a conductos perimetrales.

e) Barreras al saneamiento, ya sean naturales o fabricadas, que ayudan a reducir la gravedad de los efectos adversos y protegen a la comunidad de la posibilidad de consecuencias sanitarias y medioambientales adversas..

f) En caso de que sea necesario, deberán perforarse pozos para controlar las aguas subterráneas.

g) Son necesarios sistemas que controlen y regulen los gases y los lixiviados.

h) De conformidad con la legislación que regula la salud y la seguridad en el trabajo, esto incluye la señalización y los carteles educativos.

i) Sistema de pesaje y documentación de los productos.

j) Vigilancia y gestión de todas las plagas y roedores.

k) Infraestructuras adicionales, como el centro de control, las oficinas administrativas, la zona de almacenamiento, los aseos y los vestuarios, entre otras cosas.

Los vertederos que procesan más de 200 toneladas de residuos sólidos al día deberían implantar un sistema centralizado de captura y quema de gases para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, esto es esencial. Para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero,

debe utilizarse un sistema convencional de captura y quema en antorcha u otro método si la producción diaria de residuos sólidos es inferior a 200 toneladas. En una línea similar, la utilización de la biomasa como fuente de producción de energía es algo que podría considerarse para las actividades de recuperación de energía. (MINAM, 2017b).

Para cumplir los requisitos de conductividad hidráulica adecuados, los materiales de tierra consisten en suelos naturales en los que abundan los minerales arcillosos. Estos suelos son vitales para cumplir los requisitos. Para obtener el espesor requerido, los suelos que cumplen las normas exigidas se depositan en capas finas, que suelen medir 0,15 metros de altura. El proceso de construcción no puede llevarse a cabo sin incorporar adecuadamente el agua y aplicar energía de compactación para cumplir las normas de densidad y conductividad hidráulica exigidas. Es posible alcanzar los estándares necesarios combinando minerales arcillosos tratados con los suelos del emplazamiento. Estos revestimientos geosintéticos de arcilla, también conocidos como GCL, están disponibles en rollos, lo que permite transportarlos a grandes distancias en situaciones en las que no se dispone fácilmente de suelos arcillosos en la zona inmediata. (Townsend, 2015).

En el proceso de fabricación de los revestimientos geosintéticos, también denominados geomembranas, se utilizan varios tipos distintos de polímeros plásticos. La mayoría de los revestimientos del fondo de los vertederos están hechos de polietileno de alta densidad (HDPE), que es el tipo de polietileno más popular. El montaje de estas geomembranas se realiza uniando paneles vecinos mediante procedimientos de soldadura; en el caso de las geomembranas de HDPE, la unión se realiza mediante el uso de temperaturas.

La soldadura por termofusión permite la creación semiautomática de uniones largas (Fig. 3c). La soldadura por termoextrusión, por el contrario, puede producir de forma semiautomática uniones de gran longitud (Fig. 3c), es un proceso manual que se utiliza para unir secciones en situaciones en las que no se pueden solapar secciones rectas de geomembranas. Además, se utiliza para unir geomembranas con otras piezas de plástico.



Mientras se lleva a cabo el proceso de construcción de la geomembrana, es necesario realizar pruebas exhaustivas tanto en los materiales del revestimiento como en las costuras. (Koerner, 2012).

2.2.16.2 Recolección de lixiviado, remoción y tratamiento

En un vertedero, el lixiviado acabará llegando al sistema de revestimiento del fondo, donde será eliminado del vertedero. Esto ocurre como resultado de la gravedad, que hace que el lixiviado descienda. Una herramienta que ha resultado útil en este sentido es el sistema de recogida y eliminación de lixiviados, o LCRS. Para cumplir los objetivos de rendimiento del diseño y minimizar el riesgo de migración de lixiviados a través del sistema de revestimiento, se utilizan reglamentos para establecer las especificaciones de eliminación y diseño de las plantas de tratamiento de aguas residuales (LCRS). El sistema de revestimiento está inclinado dentro del diseño del LCRS para permitir el drenaje por gravedad a una variedad de lugares de menor elevación, tanto dentro como fuera del vertedero. La eliminación del lixiviado de estos puntos bajos se consigue mediante el uso de bombeo mecánico; sin embargo, en los casos en los que hay suficiente pendiente, puede utilizarse completamente el drenaje por gravedad. En la mayoría de los casos, la normativa estipula que el diseño del LCRS debe permitir que el lixiviado recogido en el liner no alcance una profundidad máxima determinada. En Estados Unidos, esta profundidad máxima es de un pie

El drenaje puede realizarse con una gran variedad de materiales. Este material se utiliza con frecuencia debido a su fuerte conductividad hidráulica (Fig. 4a), que lo hace adecuado para su uso en situaciones en las que la piedra redondeada es fácilmente accesible. Por esta razón, puede ser necesario utilizar muchas capas de geotextil para proteger la geomembrana de rocas y escombros que, de otro modo, podrían obstruirla. A pesar de tener una conductividad hidráulica menor que la piedra, la arena también se utiliza



mucho. En consecuencia, las LCRS tienen que estar más densamente compactadas para facilitar el drenaje. Las georredes y otros materiales geosintéticos de drenaje permiten un drenaje eficaz con poco espesor de material. Además, los geotextiles se utilizan con frecuencia en los diseños contemporáneos de LCRS para reducir aún más la probabilidad de obstrucción combinándolos con georredes.

Utilizando un revestimiento inferior inclinado y una sucesión de zanjas de drenaje, el ingeniero construye el LCRS para dirigir el flujo gravitatorio de lixiviados a una colección predeterminada de lugares bajos, o sumideros. Estos puntos bajos pueden estar dentro de la unidad de contención revestida o fuera, en lugares como pozos de registro y estaciones elevadoras.

El lixiviado se traslada desde el LCRS hasta el lugar especificado para su posterior manipulación (Fig. 4d), lo que se consigue mediante la instalación de bombas. Para evitar que este lixiviado se libere al medio ambiente, primero debe someterse al tratamiento necesario. Con la presencia de un sistema de tratamiento adecuado en las proximidades, el lixiviado que se extrae del vertedero puede enviarse directamente a una planta de tratamiento que ya esté en funcionamiento. Los lixiviados suelen conservarse in situ, por ejemplo en estanques o depósitos, ya que es el método más habitual. En algunos casos, el lixiviado se retiene brevemente antes de ser transferido fuera del emplazamiento para su tratamiento, mientras que en otros casos, el tratamiento se lleva a cabo directamente in situ. Ambos tipos de situaciones son posibles. (Tchobanoglous & Kreith, 2002).

2.2.16.3 Control de gases de relleno sanitario

Poco después de la eliminación de los residuos, este material comienza a degradarse, lo que da lugar a la producción de biogás. Esto se debe a que la mayoría de los vertederos que se utilizan para los residuos sólidos urbanos contienen una cantidad significativa de materia orgánica que es altamente degradable



Las condiciones anaeróbicas que suelen darse en los vertederos son el resultado de la compactación, el recubrimiento de los residuos y el revestimiento del fondo. Estas circunstancias permiten la descomposición biológica de enormes cantidades de materiales, como restos de comida, papel y residuos de jardinería, lo que da lugar a la producción de un gas compuesto principalmente por metano y dióxido de carbono. Tanto la magnitud de esta conversión como el ritmo al que se produce vienen determinados por el tipo de residuo (por ejemplo, la proporción de restos de comida con respecto al papel), así como por otros elementos como la cantidad de humedad presente, el nivel de pH y la temperatura. A pesar de que este estudio se ocupa principalmente de la regulación del proceso de conversión, estas reacciones están presentes en todos los vertederos que se utilizan para residuos sólidos urbanos. Un sistema de recogida y control de gases, también conocido como GCCS, es un componente que se incluye con frecuencia en la construcción de vertederos modernos. Esto se debe a las diversas razones mencionadas anteriormente.

Cuando se produce gas en un vertedero municipal de residuos sólidos, la presión es la principal fuerza motriz que obliga al gas a desplazarse fuera de la unidad de eliminación. A medida que aumenta la presión en el interior del vertedero debido a la formación de gas en determinados puntos de basura, el gas acabará desplazándose a regiones menos presurizadas situadas fuera del vertedero. Los sistemas de recogida y control de gas (GCCS) se basan en puntos de extracción para facilitar vías reguladas de evacuación del gas del vertedero. Aunque se han empleado otras configuraciones, la más común es una red de pozos verticales incrustados en el interior de la basura para facilitar la extracción. La ventilación natural a la atmósfera es una opción, mientras que la ventilación a una llama es otra, para los pozos de algunas instalaciones. No obstante, un sistema de tuberías colectoras une los pozos entre sí para obtener el máximo potencial de recuperación de gas. El campo de pozos puede aspirarse conectando esta red a sopladores o ventiladores mecánicos. El gas se dispersa o se aprovecha. (ISWA, 2005).

Uno de los aspectos más importantes del GCCS son los puntos de reducción, que ofrecen al operador la posibilidad de controlar la cantidad de vacío que se aplica a

determinadas zonas. En la figura 5 se muestra una ilustración típica de la carga de un pozo de extracción de gas. Esta ilustración también incluye la forma en que el pozo atraviesa la superficie del vertedero; una instalación de pozos que pueda medir el caudal, la presión y la temperatura; una válvula reguladora que pueda alterar la presión y el caudal; una conexión flexible al colector de gas; y conexiones adecuadas al tapón de superficie que puedan disminuir la cantidad de aire que entra en el vertedero. La gestión del condensado que se acumula en las tuberías es otro factor esencial a tener en cuenta durante el diseño y la explotación de un sistema combinado cargado con gas (GCCS). Este líquido debe eliminarse de forma adecuada para evitar que interfiera en la transmisión del gas. (USACE, 2013).

La gestión del gas condensado es similar a la de los lixiviados de vertedero. Esto se debe a que a menudo contiene sustancias químicas disueltas, como compuestos orgánicos volátiles (COV), que pueden ser peligrosos para la salud humana o el medio ambiente (Townsend, 2015).

2.2.16.4 Cierre de relleno sanitario

El inicio de las actividades de cierre debe tener lugar en los treinta días siguientes a la recepción final de la basura, y deben concluir en un plazo de ciento ochenta días. Una vez retirada toda la basura que se ha vertido en un vertedero, la superficie se cubre con una capa final de tierra, que con frecuencia también va acompañada de una capa de barrera artificial. (Fig. 6). La finalidad de este sistema de cubierta final, que a veces se denomina tapón, es minimizar la cantidad de agua que entra en el vertedero y, en algunos casos, reducir la cantidad de emisiones de gases procedentes del vertedero. Puede decirse que los sistemas de cubierta final son comparables a los sistemas de revestimiento inferior en varios aspectos, entre ellos el hecho de que constan de múltiples componentes que desempeñan diversas funciones. Como barreras, se utiliza suelo compactado y/o geomembranas, y las capas con alta permeabilidad que se sitúan por encima de la cubierta

final están diseñadas para canalizar el agua que se origina en la cubierta como aguas pluviales (Meegoda et al., 2016). Al mismo tiempo, una capa de alta permeabilidad situada debajo de la cubierta facilita la extracción de gas y su conducción a puntos de recogida concretos. En determinadas zonas, se han construido cubiertas de acuerdo con los principios de la evapotranspiración. Estas cubiertas aprovechan una combinación de circunstancias meteorológicas favorables y cualidades únicas de la cubierta para impedir que la lluvia penetre en ella.(Townsend, 2015).

Además de la instalación de un tapón final, el proceso de cierre del vertedero requiere la incorporación de infraestructuras adicionales. Estas infraestructuras pueden incluir un sistema de venteo o recogida de gases procedentes de los residuos, además de un mecanismo de gestión de las aguas pluviales que evite el desgaste de la superficie superior del vertedero. Una capa de tierra cubierta de hierba es el método habitual para cubrir los vertederos y evitar la erosión. Por otra parte, algunos establecimientos han optado por la utilización de tapas de geomembrana vista, que pueden estar texturizadas o revestidas de césped artificial (Meegoda et al., 2016)

2.2.17 Metodos de diseño de relleno sanitario

2.2.17.1 Metodo de trinchera

La excavación de zanjas en suelos con buenas características cohesivas es el método que se utiliza en esta técnica. Es el nivel freático el que determina la profundidad de la excavación; según la norma NB 760, la profundidad de la excavación debe ser de al menos veinte metros. La cantidad de espacio necesario vendrá determinada por la cantidad de basura sólida presente, así como por la profundidad típica de la zanja. En la mayoría de los casos, la anchura de la zanja es igual o superior a cinco metros. Por otra parte, el ángulo con el que se corta el talud debe modificarse para que se corresponda con el tipo de suelo que se está excavando. Debido a la posibilidad de contaminación del acuífero, este método no es adecuado para suelos con un nivel freático cercano a la

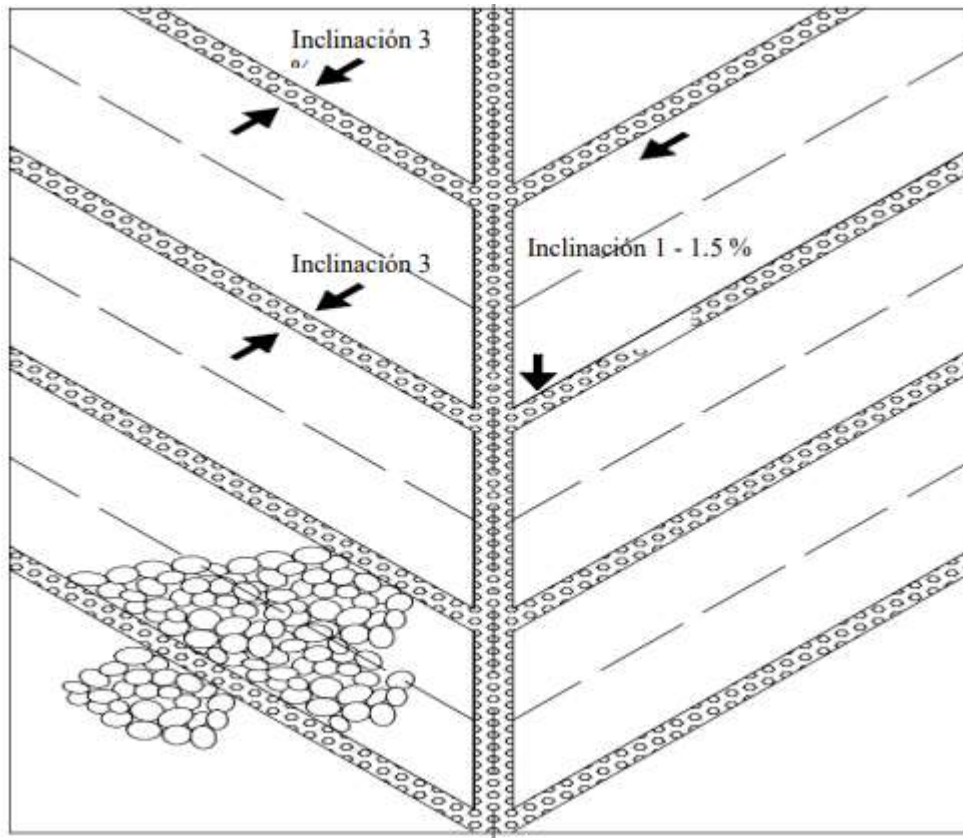
superficie o muy alto. Tampoco es aconsejable excavar en suelos rocosos debido a las dificultades que conlleva la excavación. Existe la posibilidad de que las acequias se inundan en épocas de lluvias intensas; para paliar este problema, es necesario crear canales periféricos que recojan y redirijan el agua hacia las acequias con fines de almacenamiento temporal.(Avendaño Acosta, 2015).

Este método, aplicable a terrenos llanos, consiste en utilizar una retroexcavadora o un tractor de cadenas para excavar regularmente zanjas de dos a tres metros de profundidad. Cabe mencionar que el relleno ha requerido excavar zanjas de hasta siete metros de profundidad. Antes de utilizarse como material de cobertura, la tierra excavada se deposita en el lateral de la zanja. Tras la colocación y distribución de los residuos sólidos dentro de la zanja, a continuación, se compacta la tierra y se cubre con los escombros. (Palma, 2017).

La excavación de zanjas en suelos con buenas cualidades cohesivas es el método que se solicita en este caso. El nivel freático es un factor que determina la profundidad de la excavación; según la NB 760, se requiere una profundidad mínima de dos metros. La anchura de la zanja, que suele oscilar entre 5 y 6 metros, determinará el tamaño necesario de la zanja, que vendrá determinado por el volumen de residuos sólidos, así como por la profundidad media de la zanja. La excavación de zanjas en suelos con buenas cualidades cohesivas es el método que se solicita en este caso. El nivel freático es un factor que determina la profundidad de la excavación; según la NB 760, se requiere una profundidad mínima de dos metros. La anchura de la zanja, que suele oscilar entre 5 y 6 metros, determinará el tamaño necesario de la zanja, que vendrá determinado por el volumen de residuos sólidos, así como por la profundidad media de la zanja. Es posible que las acequias se inundan en épocas de lluvias intensas. Es importante construir canales periféricos para recoger y redirigir el agua hacia las acequias con el fin de crear un almacenamiento temporal para paliar este problema.(Avendaño Acosta, 2015).

Figura 10

Metodo trinchera



2.2.18 Diseño de celda diaria

La basura sólida y el material de cobertura se compactan correctamente mediante equipos mecánicos o manuales, lo que da lugar a la formación de la celda diaria, que es una estructura geométrica. Es un área claramente delimitada en la que se almacena y compacta la basura que se genera en un solo día de actividad, y es el componente que representa la unidad esencial en la creación de un vertedero. Una capa es el nombre colectivo que recibe un conjunto de celdas vecinas que tienen toda la misma altura. Una franja es el nombre que recibe el conjunto de celdas adyacentes entre sí. (MINAM, 2017b).

La disposición geométrica que se asigna a los residuos sólidos y al material de cobertura (suelo) se denomina celda. Esta disposición se consigue mediante la utilización de tecnología especializada para lograr una compactación adecuada (MINAM, 2011).

La altura, la longitud y la anchura de la cara de trabajo, así como la inclinación de los taludes laterales, además del grosor del material de recubrimiento diario y el nivel superior de las celdas, son los componentes que conforman una celda.

Tanto la longitud de la hoja como el tipo de maquinaria que se utilice en el proceso de creación de celdas influirán a la hora de determinar la anchura mínima de las celdas, también conocida como cara de trabajo mínima.

2.2.19 Talud

El plano inclinado en el que se coloca la basura y el equipo de compactación para la pendiente de la celda se denomina pendiente de la celda. La inclinación de la pendiente viene determinada por un ángulo o una relación que indica el número de unidades que se avanzan verticalmente por cada unidad de avance que se acomete horizontalmente. Las celdas deben tener una pendiente máxima de uno a tres, lo que indica que deben avanzar tres metros horizontalmente por cada metro de altura que tengan. Esta es la recomendación (Avendaño Acosta, 2015).

2.2.20 Diseño del sistema de drenaje pluvial

La gestión de las precipitaciones se realiza con la intención de evitar que el agua entre en contacto con el volumen de residuos sólidos. En primer lugar, se trata de evitar la acumulación de líquidos y gases lixiviados, así como la erosión del sellado o cubierta del vertedero y el deterioro de los accesos y otras infraestructuras vinculadas al vertedero. En concreto, el volumen de lixiviados aumenta mucho más con el agua de lluvia que penetra a través de las capas de basura que con la misma cantidad de humedad presente en la basura (Collazos, 2013)

Cuando los residuos sólidos urbanos (RSU) se mezclan con agua u otros líquidos disolventes, o cuando la basura se descompone de forma natural, disuelve algunos de sus



componentes, creando el lixiviado de vertedero. En este líquido lixiviado hay muchos contaminantes orgánicos y partículas en suspensión.

El Ministerio de Medio Ambiente ha sugerido cuatro enfoques distintos para determinar la producción de lixiviados. En la Guía Técnica para el Diseño, Construcción, Operación, Mantenimiento y Clausura de Rellenos Sanitarios Mecanizados (MINAM, 2011) se incluyen estos procedimientos:

En caso de que sea factible desde el punto de vista económico, el sistema de drenaje más eficaz consistiría en tubos perforados situados dentro de la capa de piedra bola o grava. La instalación de estos tubos debe realizarse en la parte inferior de la capa, según la ilustración del dibujo 9, con el fin de facilitar la filtración del agua en la tubería. Para evitar que las tuberías se obstruyan, es esencial disponer de una capa filtrante (que podría ser de geotextil, fibra vegetal, arpillera colocada u otro material de naturaleza similar (Collazos, 2013).

2.2.21 Diseño vertical para gases

El porcentaje de materia orgánica que compone los residuos sólidos que se depositan en vertederos es del 56,18%. A medida que esta sustancia sufre una descomposición anaeróbica, produce emisiones gaseosas que se componen de una variedad de gases de distintos tipos.(MINAM, 2011).

Los gases tienden a concentrarse en los espacios vacíos del relleno, aprovechando las grietas del suelo y la permeabilidad de la cubierta para escapar. En vista de ello, es de suma importancia desarrollar y ejecutar métodos eficaces para controlar la producción y el movimiento de estos gases..

Es posible que el metano afecte a las raíces de las plantas al impedir la circulación de oxígeno y aire a través del suelo. El gas de vertedero se propaga por el suelo. En el vertedero, la basura pasa por un proceso de degradación orgánica que varía a lo largo del tiempo. Este proceso de biodegradación puede dividirse en cuatro etapas distintas:



1. Etapa: Oxidación
2. Etapa: Fermentación ácida en condiciones anaeróbicas
3. Etapa: Fermentación anaeróbica desequilibrada con generación de metano
4. Etapa: Fermentación anaeróbica equilibrada con generación de metano

Durante la primera fase, se reduce el oxígeno presente en la basura, lo que pone en marcha el proceso de descomposición después de que los residuos queden cubiertos por más basura y tierra. Durante esta fase, las moléculas orgánicas como la celulosa, las proteínas y las grasas se descomponen en componentes esenciales como aminoácidos, lípidos y azúcares. Por ejemplo, las grasas se descomponen en azúcares.

En la segunda etapa, estas sustancias químicas fundamentales sufren transformaciones adicionales, que dan lugar a la síntesis de H_2O_2 , CO_2 y acetato, así como de lípidos. El proceso se conoce como «fermentación ácida» porque se caracteriza por un aumento considerable de la cantidad de lípidos durante esta determinada etapa". Hay un aumento significativo en la cantidad de emisiones de olor que se producen durante este proceso si la basura está expuesta al aire. Además de esto, la proporción de contaminantes que están presentes en el agua que se ha lixiviado también es bastante significativa

Los productos intermedios de la segunda fase se transforman en CH_4 (metano), CO_2 y H_2O . Estos gases son los últimos subproductos de la descomposición de la materia orgánica y su producción se prolongará durante un largo periodo (entre 25 y 40 años), (Collazos, 2013)

2.2.22 Relleno sanitario manual

Para las comunidades con una población de hasta 40.000 habitantes, ya sean urbanas o rurales, así como para las zonas periféricas de algunas ciudades que generan



menos de 20 toneladas de residuos al día, el vertedero manual se presenta como una solución realista y poco costosa. Esto es así independientemente de que la comunidad esté situada en un entorno urbano o rural. Para construir caminos internos, excavar zanjas o retirar material de sobrecarga de un emplazamiento utilizando el enfoque de operación manual, sólo se necesita maquinaria pesada. Esto depende de los avances que se realicen y de la forma que se utilice para verter el material. Debido a que las tareas restantes pueden realizarse manualmente, las comunidades con bajos ingresos que no pueden permitirse la compra y el mantenimiento continuado de equipos pesados pueden gestionar eficazmente sus basuras y aprovechar la mano de obra, que suele ser barata en los países en desarrollo. (Causa, 2019).

2.2.22.1 Diseño de un relleno sanitario

A la hora de seleccionar un vertedero, se requiere un diseñador cualificado que lleve a cabo un examen exhaustivo del lugar y evalúe las múltiples posibilidades que existen para su futuro funcionamiento. Él o ella es responsable de imaginar cuál será la alternativa ideal en cuanto a las rutas que seguirán los vehículos para entrar y salir del área, así como la forma de gestionar la extracción de lixiviados, cómo se determinará la morfología del emplazamiento a medida que la basura se acumule gradualmente, Son consideraciones importantes la gestión del frente de trabajo y la procedencia del material de recubrimiento. (Palma, 2017).

A continuación se exponen algunas de las consideraciones más importantes para el diseño técnico de un vertedero sanitario: la selección de un sitio que posea suficientes características geológicas e hidrogeológicas, la utilización de tecnología apropiada y la capacidad que se requiere. Además del diseño del volumen de residuos, se requiere un sistema eficaz para garantizar la impermeabilidad del suelo y de la superficie del depósito, que tenga en cuenta el tipo de residuos (por ejemplo, residuos biodegradables incluidos o



no) y el método técnico de gestión (por ejemplo, equipo manual frente a equipo de compactación). (Röben, 2002).

Según (CEAMSE, 2012) La gestión final de los residuos sólidos mediante vertederos es un método basado en los principios de la ingeniería sanitaria. El objetivo general del método es prevenir la contaminación en todas sus formas, protegiendo tanto la salud humana como el medio ambiente. Empezando por la selección del emplazamiento, la ejecución de la técnica del vertedero implica la investigación preparatoria, la preparación del emplazamiento, la construcción de infraestructuras y, por último, la aplicación real del método. La vigilancia del medio ambiente, la planificación del uso futuro de las regiones de vertederos y el diseño para su adaptación al entorno son aspectos que deben evaluarse y crearse adecuadamente. El objetivo principal de los vertederos es ofrecer una opción de eliminación segura y concluyente para los residuos sólidos que se producen en los centros metropolitanos.

2.2.22.2 Procedimientos previos a la construcción de un relleno sanitario

Avendaño Acosta, (2015). Se subraya que es necesario el compromiso y la responsabilidad del gestor o propietario de un vertedero sanitario para llevar a cabo la implantación y explotación del mismo. Para garantizar la viabilidad del proyecto a largo plazo, es imperativo que éste sea precedido por un proyecto que haya obtenido todas las aprobaciones y permisos necesarios antes de iniciar su implementación. A continuación, se describen los procesos que deben seguirse antes de la construcción de un vertedero.:

- Recolección de datos iniciales
- Determinación de opciones
- Evaluación y elección
- Autorización del emplazamiento escogido



- Verificación del uso del terreno
- Investigaciones fundamentales
- Evaluación del impacto ambiental
- Planificación del relleno sanitario
- Edificación del relleno

Factor económico:

- Lejanía del origen de los residuos
- Separación de infraestructuras relacionadas (por ejemplo, instalaciones de lombricultura)
- Tamaño del terreno
- Capacidad para ampliar el relleno
- Vías de acceso.

Factor ambiental:

- La disponibilidad de fuentes superficiales o subterráneas, así como de manantiales, es responsable de la protección de las aguas superficiales.
- El terreno en cuestión tiene una importancia ecológica sustancial.
- Cercanía a zonas habitadas
- Barreras naturales (como taludes y áreas forestales)
- Configuración del terreno (posibilidad de drenar las aguas lixiviadas utilizando pendientes naturales).
- Presencia de zonas protegidas
- Condiciones climatológicas (viento predominante, precipitación)

Factor técnico

- Configuración del terreno: Es preferible construir en áreas planas o con ligera inclinación, con pendientes entre el 3% y el 12%
- Condiciones sísmicas
- Presencia de fallas geológicas
- Las propiedades y la composición del suelo (lo ideal sería que un suelo de permeabilidad limitada tuviera un alto contenido en arcilla).
- Nivel de las capas freáticas
- Disponibilidad de material adecuado para la cobertura
- Cantidad de residuos

Se utiliza de la siguiente manera.

- El Decreto Supremo N° 014-2017-MINAM, artículo 109 - selección de lugares para la infraestructura de disposición final, desarrolla los aspectos legales, y las disposiciones de la Ley General de Residuos Sólidos precisan estos aspectos.

- Localización. Hay que tener en cuenta los siguientes factores en relación con este aspecto: ubicación, vías de acceso, condiciones hidrogeológicas y topográficas, periodo previsto de explotación, tipo de material a cubrir, preservación de los recursos naturales, condiciones climáticas y posibilidad de adquisición.

- Limitado por la ubicación. En este escenario concreto, es necesario tener en cuenta diversos factores, como el nivel de aceptabilidad para el desarrollo, la presencia de fallas geológicas, el emplazamiento en zonas sísmicas, las infraestructuras existentes, el trazado urbano y el nivel de seguridad en torno a los aeropuertos.

2.2.22.3 Ventajas

- Impactos negativos reducidos
- Costos operativos y de mantenimiento bajos
- Creación de empleo

- Operación a corto plazo

2.2.22.4 Desventajas

- La resistencia de la comunidad a la creación de vertederos convierte la compra de terrenos en el principal desafío para su edificación.
- Durante los primeros dos años después de completar el vertedero, se producen asentamientos significativos que complican el uso del terreno.
- Existe el riesgo de contaminación de las aguas subterráneas y superficiales adyacentes si no se implementan las medidas de seguridad apropiadas.

2.2.23 Dimensionamiento del relleno sanitario manual

2.2.23.1 Producción per capita

El peso de la basura, que se mide en kilos, puede multiplicarse por el número de personas que viven diariamente en una zona determinada para calcular la producción per cápita (Mendieta & Mendoza, 2019).

2.2.23.2 Producción total

La cantidad total de residuos que se produce puede representarse mediante el cociente obtenido al dividir la población por la producción per cápita (PPC). Esta información es vital para determinar los trabajadores necesarios, la ruta a seguir, la frecuencia de recogida y el tipo de equipos que deben poseer capacidades y características particulares para llevar a cabo una campaña de recogida de basuras eficaz.

2.2.23.3 Proyección de la población total

Para construir vertederos manuales es necesario prever la población futura de la región investigada utilizando el censo de viviendas y población más reciente y aplicando

esa información. Para calcular la cantidad total prevista de residuos producidos, se utilizan los datos de generación de residuos per cápita.(MINAM, 2018).

2.2.23.4 Volumen de residuos solidos

Mediante el uso de los criterios definidos anteriormente, podemos determinar la cantidad necesaria de residuos que se han compactado y estabilizado tanto diaria como anualmente.

2.2.23.5 Material para cobertura

La disponibilidad de material de cobertura es un requisito previo para la construcción del vertedero, que debe llevarse a cabo. Se recomienda determinar el volumen de este material tomando entre el veinte y el veinticinco por ciento del volumen de la basura compactada y multiplicando esa cifra por el volumen anual de basura compactada que se necesita (OPS/CEPIS, 2002).

2.2.23.6 Cálculo del área requerida

Para llegar a una estimación de la superficie total que se necesita, es necesario averiguar el volumen que se necesita para construir el vertedero manual, además de considerar la profundidad y altura máximas del vertedero (MINAM, 2018).

Se recomienda que el diseño del vertedero manual se conciba para un periodo de al menos cinco años y no superior a diez. Como alternativa, se puede tener en cuenta una vida útil prevista inferior a cinco años en algunas circunstancias, como cuando no se disponga de un emplazamiento adecuado para su desarrollo. Se denomina periodo de diseño o vida útil a todo este tiempo. Hay una serie de factores que desempeñan un papel importante a la hora de determinar la cantidad de espacio necesaria para la construcción de este tipo de vertederos:

- Volumen de desechos que se deben gestionar.
- Cantidad de material necesario para cubrir los residuos.
- Grado de compactación de los residuos municipales.
- Altura o profundidad del vertedero.
- Espacios adicionales para proyectos asociados.

$$ars=vrs/hrs$$

Donde:

ars = Superficie a rellenar de manera continua (m²)

vrs = Volumen anual del relleno sanitario (m³/año)

hrs = Altura o profundidad promedio del relleno sanitario (m)

y el área total requerida será:

$$at=f*ars$$

Donde:

at = Superficie total necesaria (m²)

f = Coeficiente de expansión para áreas adicionales como patios de maniobra, instalaciones sanitarias, áreas de entrada, bordos y caminos de acceso. Este coeficiente representa entre el 20% y el 40% del espacio libre.

2.2.24 El suelo

El suelo constituye un componente crucial de la superficie terrestre, resultado de procesos geológicos, climáticos y biológicos que ocurren a lo largo de siglos o milenios. Está formado por una combinación de partículas minerales, material orgánico en



descomposición, agua, aire y diversos organismos vivos. Esta combinación de elementos da lugar a un entorno complejo y dinámico que sustenta la vida terrestre.

Los minerales en el suelo, que provienen de la desintegración de rocas, proporcionan la estructura física y la estabilidad necesarias para el crecimiento de las plantas y el desarrollo de raíces. La materia orgánica, originada a partir de la descomposición de plantas y animales, aporta nutrientes esenciales, además de mejorar la retención de agua y la estructura del suelo. El contenido de agua en el suelo no solo es vital para el crecimiento de la vegetación, sino que también actúa como un medio para transportar nutrientes a través del perfil del suelo.

El aire presente en el suelo es fundamental para la respiración de las raíces y otros organismos que habitan en él. Estos organismos, que incluyen bacterias, hongos, lombrices y otros invertebrados, desempeñan un papel clave en la descomposición de materia orgánica y la creación de un suelo fértil y saludable. La interacción entre estos componentes convierte al suelo en un ecosistema vivo, donde cada elemento cumple una función específica para mantener el equilibrio y la biodiversidad.

El suelo también cumple funciones críticas en el ciclo hidrológico, actuando como un filtro natural que atrapa contaminantes y purifica el agua a medida que esta se infiltra hacia las capas subterráneas. Además, proporciona un hábitat para una gran variedad de organismos, lo que contribuye a la biodiversidad global.

La calidad y salud del suelo son esenciales para la producción agrícola, la sostenibilidad ambiental y la mitigación del cambio climático, ya que el suelo almacena carbono y reduce la erosión. Por esta razón, es importante estudiar y conservar el suelo para asegurar su integridad y capacidad para sustentar la vida en la Tierra. Para hacer frente a problemas globales como la inseguridad alimentaria y el cambio climático, es crucial comprender la estructura, el contenido y la función del suelo.



2.2.25 Clasificación granular de los suelos

2.2.25.1 Suelos granulares.

Los suelos granulares son un tipo de suelo en el que predominan partículas grandes como arena y grava. Este tipo de suelo tiene propiedades distintivas debido al tamaño y naturaleza granular de sus partículas, que son mucho más grandes que las de suelos finos como arcilla o limo. La estructura de los suelos granulares facilita el drenaje y la permeabilidad, lo que significa que permiten que el agua fluya con rapidez a través de sus poros. Esta cualidad los hace ideales para aplicaciones donde el drenaje rápido es crítico, como en la construcción de carreteras, cimentaciones y sistemas de drenaje. La resistencia y estabilidad de los suelos granulares dependen de factores como el tamaño de las partículas y el grado de compactación. Aunque estos suelos son buenos para el drenaje, tienen menor capacidad para retener agua y pueden asentarse si no se gestionan adecuadamente. Comprender las propiedades específicas de los suelos granulares es fundamental en la ingeniería geotécnica para diseñar de manera segura y eficaz en una variedad de proyectos de construcción e infraestructura.

2.2.25.2 Suelos cohesivos.

Los suelos cohesivos son un tipo de suelo geotécnico donde predominan partículas finas, especialmente de arcilla. Una de las características principales de estos suelos es su capacidad para unirse por fuerzas de cohesión entre las partículas, lo que permite formar estructuras estables. Gracias a su alta plasticidad y cohesión, estos suelos pueden retener agua y mostrar cambios significativos en volumen cuando varía su humedad. Esta propiedad puede tener un impacto importante en la estabilidad, resistencia y comportamiento mecánico de los suelos cohesivos. Además, estos suelos suelen ser menos permeables que los suelos granulares, lo que significa que el drenaje puede ser más lento. Los suelos cohesivos son comunes en áreas con climas húmedos y pueden encontrarse en diversos entornos, desde lugares de construcción hasta lechos de ríos. En

el campo de la ingeniería geotécnica, es fundamental comprender cómo se comportan estos suelos para diseñar adecuadamente cimentaciones, terraplenes y estructuras, reduciendo así los riesgos asociados con la plasticidad y la expansión de los suelos cohesivos.

2.2.25.3 Suelos orgánicos

Los suelos orgánicos son un tipo de suelo donde una parte significativa de su contenido está compuesta por materia orgánica en diferentes etapas de descomposición. Esta materia orgánica proviene de restos de plantas y animales, y su presencia le da a estos suelos características únicas. Los suelos orgánicos se encuentran típicamente en áreas donde se acumula mucho material vegetal, como bosques, humedales y turberas. La descomposición de esta materia orgánica produce un horizonte superior oscuro, conocido como horizonte O. Estos suelos suelen ser más ligeros y tener una estructura más suelta que otros tipos de suelos. Aunque son ricos en nutrientes, la descomposición continua de la materia orgánica puede llevar a un fenómeno llamado subsidencia del suelo, donde el suelo tiende a hundirse a medida que el material orgánico se degrada. Los suelos orgánicos tienen una alta capacidad de retención de agua y son muy fértiles, lo que los hace atractivos para la agricultura. Sin embargo, estas mismas propiedades pueden representar retos para proyectos de construcción e ingeniería, especialmente en términos de estabilidad. La gestión sostenible de los suelos orgánicos es fundamental para mantener su fertilidad y funcionalidad, tanto para uso agrícola como para aplicaciones de construcción.

2.2.26 Características que presentan los suelos

2.2.26.1 Granulometría en suelos

La granulometría en suelos se refiere al estudio y la descripción de la distribución de tamaños de partículas que componen una muestra de suelo. Este análisis es clave para entender la textura y la composición del suelo, aportando información detallada para su



clasificación. La determinación granulométrica se lleva a cabo mediante una serie de tamices con diferentes aberturas que separan las partículas según su tamaño. Las fracciones más comunes incluyen arena, limo y arcilla, y la proporción entre ellas determina la textura del suelo, clasificándolo como arenoso, limoso, arcilloso o una combinación de estas categorías, también conocida como suelo franco. El análisis de granulometría es crucial en ingeniería geotécnica y en el desarrollo de proyectos de construcción, ya que afecta características importantes como la permeabilidad, la compactación y la capacidad de carga del suelo. También es relevante en agricultura, dado que influye en la habilidad del suelo para retener agua y nutrientes, afectando directamente el crecimiento de las plantas. Comprender y analizar la granulometría es fundamental para el diseño y la gestión efectivos de diversas aplicaciones que involucran suelos.

Tabla 2

Contenido de Humedad W %

Abertura(mm)	Tamiz N°
101.6	4"
50.8	2"
25.4	1"
19.1	3/4"
12.7	1/2"
9.52	3/8"
6.35	1/4"
4.76	No4
2.38	No8
2.00	No10
1.19	No16
0.84	No20
0.59	No30
0.42	No40
0.297	No50
0.25	No60
0.18	No80
0.150	No100
0.105	No140
0.074	No200
0.037	No400

Figura 11

Curva granulométrica Curva granulométrica de un suelo a través de la técnica de análisis granulométrico por tamizado

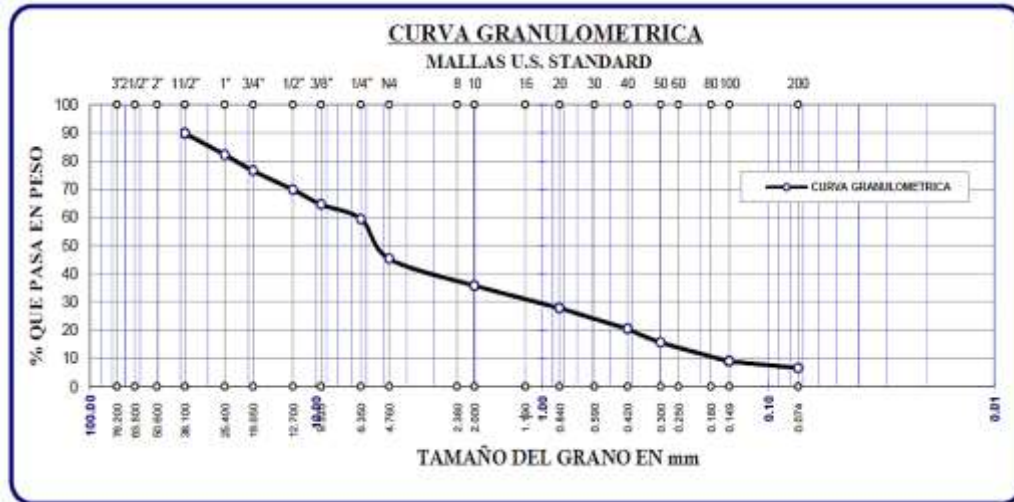


Figura 12

Coefficientes que se evidencian en la curva granulométrica.

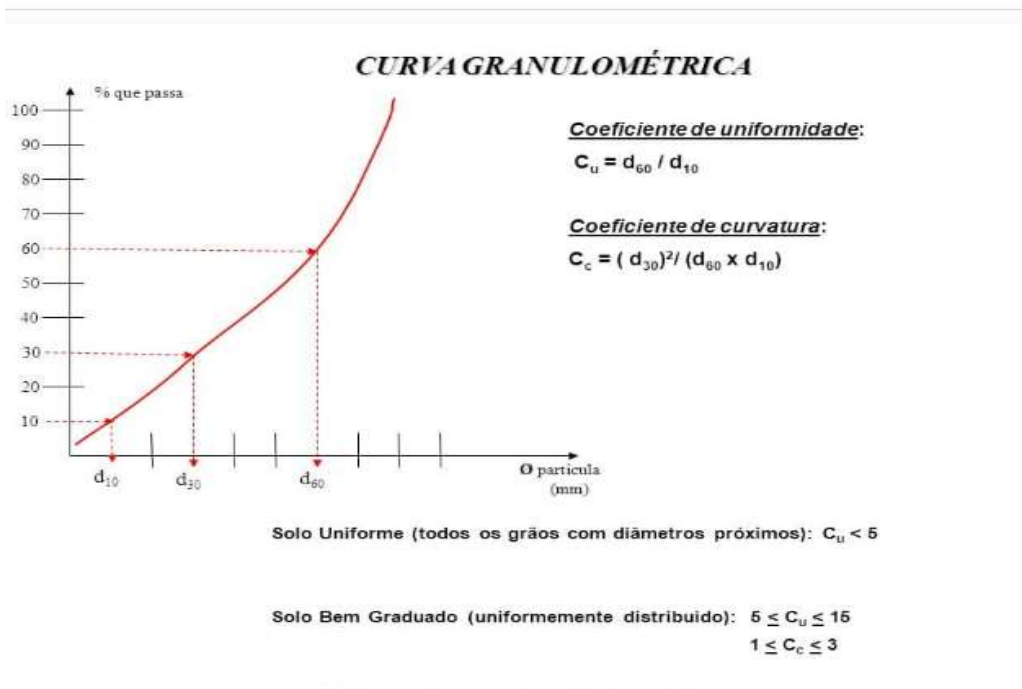
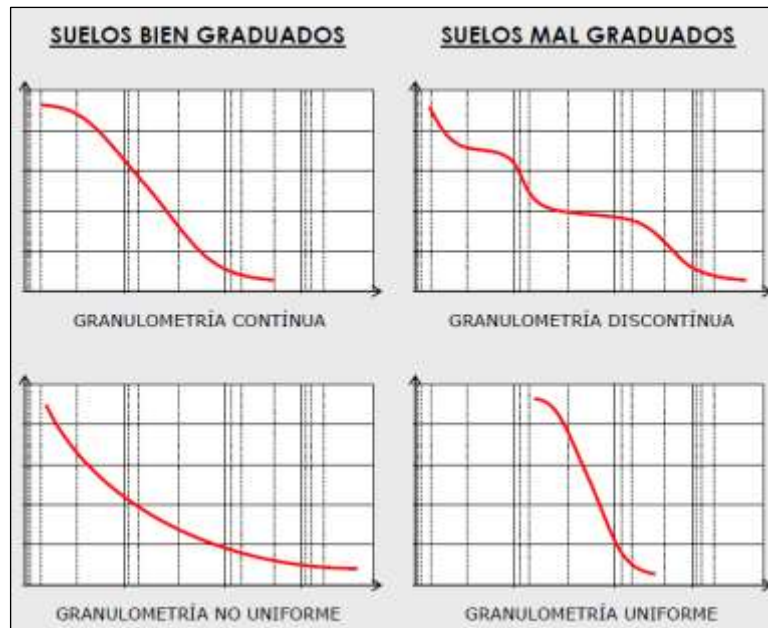


Figura 13

Análisis e interpretación de la curva granulométrica.



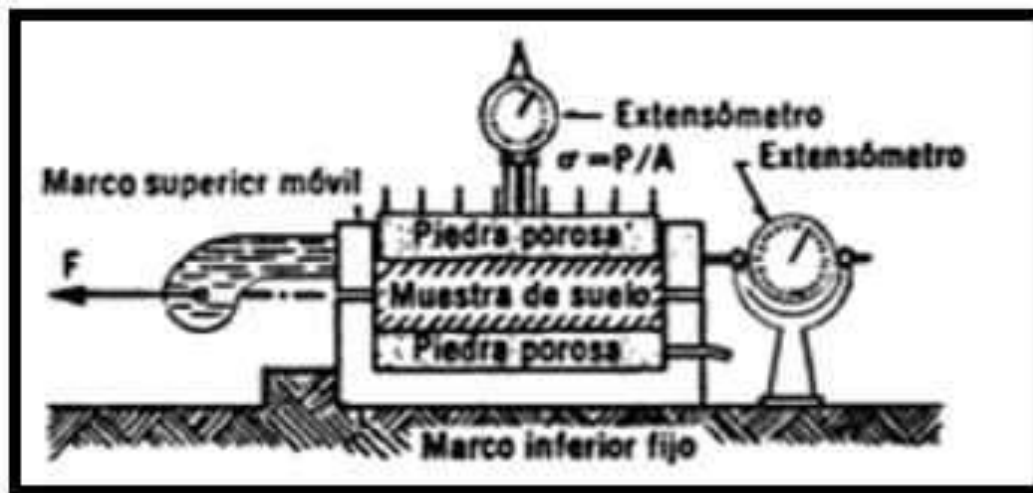
2.2.26.2 Propiedades del suelo

A) Resistencia al corte de los suelos

La resistencia al corte en suelos es una característica geotécnica clave que indica la capacidad de un suelo para soportar fuerzas tangenciales o de corte sin desmoronarse. Este atributo es especialmente importante en ingeniería geotécnica, donde la relación entre el suelo y las estructuras es crítica para el diseño de cimentaciones y otras construcciones. Se puede medir la resistencia al corte mediante pruebas de laboratorio, como el ensayo de corte directo o el ensayo triaxial, en las que se aplican fuerzas específicas para observar cómo reacciona el suelo ante cargas de corte. La resistencia al corte está influida por factores como la cohesión y el ángulo de fricción interna, que dependen de la textura del suelo, su estructura y su nivel de humedad. Entender esta propiedad es vital para evaluar la estabilidad de taludes, la capacidad de carga de cimentaciones y para diseñar construcciones que interactúen de manera segura con el suelo. Conocer y analizar la resistencia al corte es esencial para reducir riesgos geotécnicos y asegurar la solidez y longevidad de las estructuras construidas en diferentes tipos de suelo.

Figura 14

Diagramación para calcular la resistencia al corte



Nota: Google imágenes

B). Cohesión

La cohesión en suelos se refiere a la habilidad de las partículas finas, en particular las arcillas, para adherirse entre sí y mantener la unión gracias a fuerzas de atracción entre ellas. Esta característica proporciona al suelo una resistencia interna que le permite mantener su forma y resistir fuerzas tangenciales o de corte. La cohesión es un componente clave en la resistencia al corte de los suelos y es más evidente cuando el suelo no está completamente saturado. El nivel de cohesión puede ser muy diferente según el tipo de suelo, siendo más alto en suelos arcillosos y menor en suelos arenosos o gravosos. En ingeniería geotécnica, la cohesión es un factor crítico para el diseño de cimentaciones y otras estructuras, ya que influye en la estabilidad del suelo y en su capacidad para soportar cargas. Se mide a través de ensayos de laboratorio, como el ensayo de corte directo, donde se aplica una fuerza tangencial para medir la resistencia cohesiva del suelo. Entender y medir la cohesión es esencial para resolver eficazmente los problemas geotécnicos relacionados con suelos cohesivos en diversos proyectos de construcción e ingeniería.



C) Angulo de fricción

El ángulo de fricción en suelos es una característica geotécnica que indica la resistencia del suelo al corte debido a la fricción entre sus partículas. Este ángulo representa el punto crítico entre la estabilidad y el deslizamiento de las partículas del suelo cuando se someten a fuerzas tangenciales. Un ángulo de fricción mayor significa una mayor resistencia al corte del suelo. Para determinarlo, se utilizan ensayos geotécnicos, como el de corte directo o el triaxial, en los que se aplican fuerzas controladas para analizar cómo responde el suelo a cargas de corte. El ángulo de fricción está determinado por factores como la textura del suelo, la forma de las partículas y el contenido de agua. En suelos granulares, como arenas o gravas, el ángulo de fricción suele ser más alto en comparación con suelos cohesivos, como arcillas. Esta propiedad es fundamental para el diseño de cimentaciones y la evaluación de la estabilidad de taludes, ya que proporciona información sobre la capacidad del suelo para soportar cargas y resistir deslizamientos. Conocer y medir el ángulo de fricción es vital para la ingeniería geotécnica y la planificación de proyectos de construcción.

2.2.27 Métodos para determinar la capacidad de carga de los suelos

La determinación de la capacidad de carga de los suelos es fundamental para el diseño seguro y eficiente de cimentaciones. Varios métodos se utilizan para evaluar esta capacidad, desde técnicas empíricas hasta enfoques analíticos y numéricos. Aquí están algunos de los métodos más comunes para determinar la capacidad de carga de los suelos.

2.2.27.1 Pruebas de penetración estándar – SPT

Esta es una de las pruebas de campo más utilizadas para obtener información sobre la resistencia y densidad del suelo. Se realiza golpeando un muestreador de suelo con un martillo estandarizado para medir el número de golpes necesarios para penetrar



una cierta profundidad. Los valores obtenidos (N-values) se utilizan para estimar la capacidad de carga y otras propiedades del suelo.

2.2.27.2 Pruebas de penetración de cono – CPT

En esta prueba, un cono es empujado en el suelo a una velocidad constante para medir la resistencia a la penetración y la fricción lateral. Los datos obtenidos permiten inferir propiedades del suelo y estimar la capacidad de carga para cimentaciones superficiales y profundas.

2.2.27.3 Pruebas de placa de carga

Este método implica la aplicación de cargas crecientes a una placa de tamaño conocido en la superficie del suelo para medir el asentamiento. Los resultados permiten establecer relaciones entre la carga aplicada y el asentamiento, proporcionando una estimación directa de la capacidad de carga.

2.2.27.4 Métodos empíricos, analíticos y tablas de capacidad de carga

Los ingenieros geotécnicos a menudo utilizan métodos empíricos basados en correlaciones de campo y tablas estándar para estimar la capacidad de carga. Estos métodos, como el método de Terzaghi o Meyerhof, están basados en datos históricos y estudios geotécnicos previos.

Los métodos analíticos, como los propuestos por Terzaghi, Meyerhof y Hansen, utilizan fórmulas para calcular la capacidad de carga basadas en parámetros del suelo, como la cohesión, el ángulo de fricción interna y la profundidad de la cimentación. Estos métodos requieren datos geotécnicos específicos y consideran factores como la forma de la cimentación, la profundidad, y la inclinación de la carga.

2.3 Marco conceptual

➤ Residuos sólidos domiciliarios

(Arocutipa, 2022). La generación de residuos sólidos domésticos se define por el hecho de que se producen como resultado de actividades que se llevan a cabo en viviendas u otros establecimientos asimilables a residencias. Las características de esta basura, incluidas su naturaleza, sustancia, cantidad y volumen, pueden servir para identificarla.

➤ Residuos sólidos

(Arocutipa, 2022) Una vez finalizada su vida útil, son residuos que se tiran y que, en la mayoría de los casos, no tienen valor desde el punto de vista económico. Además de ser reciclables para su uso posterior, están formados por materiales que se utilizan en la fabricación de artículos.

➤ Relleno sanitario

(MINAM, 2018). Es generalmente reconocido como un proceso de ingeniería que se utiliza para enterrar residuos sólidos en el suelo con la intención de contribuir a la preservación del medio ambiente. No se deben confundir con los vertederos, los vertederos sanitarios son lugares que se seleccionan en función de criterios específicos con el fin de disminuir la cantidad de contaminación ambiental. Además de reducir los riesgos asociados a la quema espontánea y la contaminación del aire y el agua, su control también reduce el número de vectores de enfermedades que están disponibles para propagarse.

➤ Taludes

(MINAM, 2018). Una carretera, una presa o una excavación son ejemplos de estructuras con superficies inclinadas que forman parte de una estructura geotécnica o de ingeniería. Existen dos tipos de taludes: los que se producen de forma natural, como los que se encuentran en colinas y montañas, y los que son formados por el hombre a través de medios artificiales.





CAPITULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 Enfoque de investigación

El trabajo de investigación implica la recopilación de datos cuantitativos y la aplicación de métodos estadísticos para analizar, interpretar y comprender fenómenos, patrones o conexiones en un contexto de estudio. Este método se centra en medir y cuantificar diversas variables para alcanzar conclusiones objetivas y extrapolables. Este tipo de investigación sigue un enfoque cuantitativo, orientado a producir resultados que sean consistentes y puedan ser generalizados a una población más amplia. La aplicación de herramientas estadísticas permite descubrir tendencias y relaciones que informan la descripción y explicación de los datos recopilados.

3.2 Método de investigación

El método experimental es un enfoque estructurado y riguroso utilizado para examinar las relaciones de causa y efecto entre diferentes variables en un entorno donde las condiciones están cuidadosamente gestionadas. En este tipo de investigación, el investigador interviene de manera intencionada en una o más variables independientes con el fin de observar y medir las consecuencias de esos cambios en una variable

dependiente. A la vez, el investigador trata de controlar y mantener estables otros factores o variables que podrían afectar los resultados del experimento. Este enfoque se utiliza para aislar los efectos de las variables independientes y garantizar que los resultados sean atribuibles a la manipulación específica, minimizando la influencia de otras variables externas. El método experimental es fundamental para establecer relaciones de causalidad en diversas disciplinas científicas y se basa en la repetición y replicabilidad de los experimentos para obtener resultados válidos y confiables.

3.3 Tipo de investigación

La investigación aplicada se orienta hacia la resolución de problemas concretos y la generación de conocimientos que pueden tener un uso práctico en el mundo real. A diferencia de la investigación básica, que busca ampliar el conocimiento por motivos puramente académicos o para comprender mejor ciertos fenómenos sin un uso inmediato, la investigación aplicada tiene un enfoque pragmático y busca soluciones específicas a desafíos tangibles. Este tipo de investigación se caracteriza por su intención de traducir resultados científicos en aplicaciones que tengan un impacto directo en campos como la industria, la tecnología, la salud o la educación. Los investigadores que practican este enfoque buscan desarrollar herramientas, métodos, procesos o tecnologías que resuelvan problemas específicos y beneficien a la sociedad de manera inmediata o a corto plazo. En resumen, la investigación aplicada está motivada por la utilidad práctica y se enfoca en la aplicación concreta de resultados para satisfacer necesidades reales.

3.4 Nivel de Investigación

El nivel de investigación descriptivo proporciona un panorama detallado y preciso sin buscar modificar la realidad, y su enfoque se centra en recopilar y presentar datos para generar una base sólida que sirva de referencia para futuras investigaciones más profundas o analíticas.

3.5 Diseño de investigación

El diseño experimental ofrece un marco metodológico que busca establecer causalidad mediante la manipulación controlada de variables independientes, la asignación aleatoria para reducir sesgos y el uso de controles para mantener la consistencia en el entorno experimental. Con esta estrategia, se logra una mayor certeza en las conclusiones y se obtiene un mayor grado de confianza en los hallazgos obtenidos.

3.6 Población y muestra

3.6.1 Población

En la ciudad de Juliaca existe una región de investigación. Esta zona contiene una un botadero relevante para el presente estudio.

3.6.2 Muestras

Precisa que la muestra está conformada por la porción de lugares no específicos como parte representativa, abarcando la ciudad de Juliaca, que es donde se realizara el diseño de relleno sanitario

3.7 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.7.1 Técnicas

A continuación, se describen con mayor detalle las estrategias que se emplearán para recolectar datos en el transcurso de esta investigación:

- Observación directa con registro visual: Esta estrategia implica que el investigador, o un equipo designado, presenciara de primera mano las actividades, eventos o situaciones relevantes para el estudio y anotará sus observaciones. El objetivo de esta técnica es documentar datos específicos mediante la observación visual, capturando detalles y aspectos importantes del entorno estudiado.
- Recopilación de información a partir de análisis documental: Esta metodología se basa en la revisión y el estudio minucioso de documentos escritos y otras fuentes

textuales. Incluye el análisis de libros, informes, revistas, registros oficiales, estudios previos y cualquier otro material impreso o digital relevante. El propósito es obtener información contextual y datos concretos a partir de fuentes existentes que puedan contribuir al cuerpo de conocimiento de la investigación.

- Captura de imágenes como método para recolectar datos: Esta estrategia se centra en el uso de herramientas visuales, como cámaras fotográficas o de video, para recolectar evidencia gráfica. A través de este método, se busca documentar el entorno o las actividades de interés, proporcionando un registro visual que pueda ser analizado posteriormente. Las imágenes permiten capturar detalles que podrían pasar desapercibidos con otros métodos y ofrecen un respaldo visual a las observaciones y resultados obtenidos.
- Con la combinación de estas estrategias, se espera recopilar un conjunto de datos sólido y diverso, permitiendo un análisis integral y proporcionando una base firme para las conclusiones de la investigación. La utilización de diferentes métodos también ayuda a validar los datos a través de enfoques complementarios, lo que contribuye a la fiabilidad y la credibilidad de los resultados finales.

Con la combinación de estas estrategias, se espera recopilar un conjunto de datos sólido y diverso, permitiendo un análisis integral y proporcionando una base firme para las conclusiones de la investigación. La utilización de diferentes métodos también ayuda a validar los datos a través de enfoques complementarios, lo que contribuye a la fiabilidad y la credibilidad de los resultados finales.

3.7.2 Instrumentos

- Apuntes manuales para registrar información.
- Uso de cámaras fotográficas digitales.



- Equipos de laboratorio para análisis de suelos.
- Consulta de libros y documentos especializados.
- Aplicación de herramientas informáticas y software.

3.8 Validación y de instrumentos y confiabilidad

3.8.1 Validación de instrumentos

La confirmación de los resultados se obtiene en el laboratorio de suelos de la Universidad Andina, donde el encargado del laboratorio, que cuenta con la debida certificación y experiencia, emite la validación correspondiente. Este proceso de validación incluye la verificación de los procedimientos empleados y la precisión de los equipos utilizados en el laboratorio. Además, garantiza que todas las pruebas y análisis se hayan realizado conforme a los estándares de calidad y normas técnicas vigentes, brindando así respaldo técnico y credibilidad a los resultados obtenidos en la investigación.

3.8.2 Confiabilidad de instrumentos

En un laboratorio con equipamiento especializado se llevan a cabo diferentes análisis y pruebas relacionadas con esta investigación. Cada persona responsable de ejecutar estos ensayos garantiza la confiabilidad de sus resultados mediante una cuidadosa revisión y calibración de los instrumentos utilizados. Este proceso asegura que cada prueba se realice con precisión y de acuerdo con los estándares técnicos establecidos, proporcionando resultados confiables y consistentes para el estudio en curso.

CAPITULO IV

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

4.1 Resultados obtenidos:

Figura 15

Localización de los perfiles estratigráficos

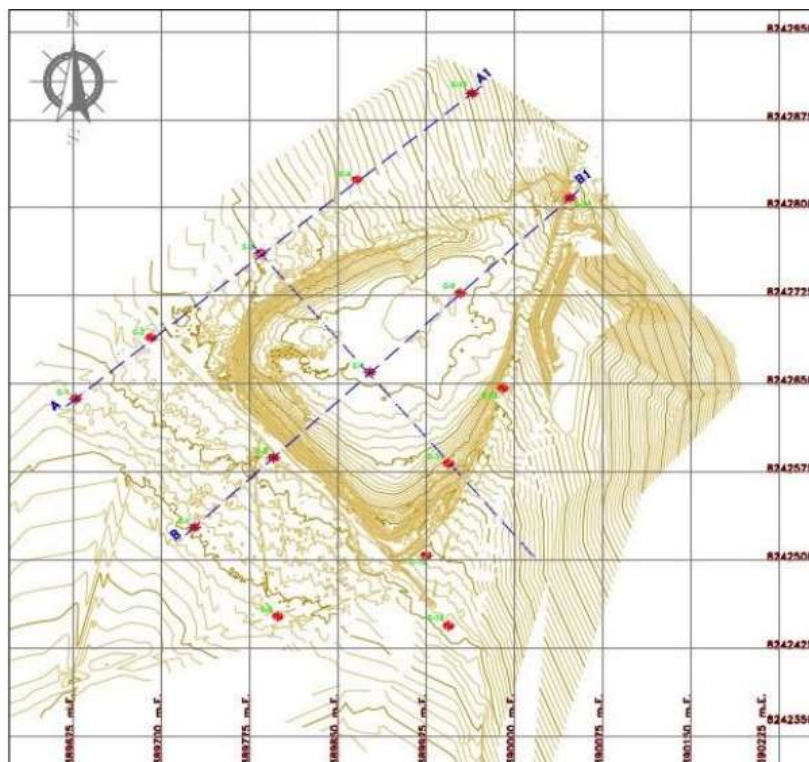
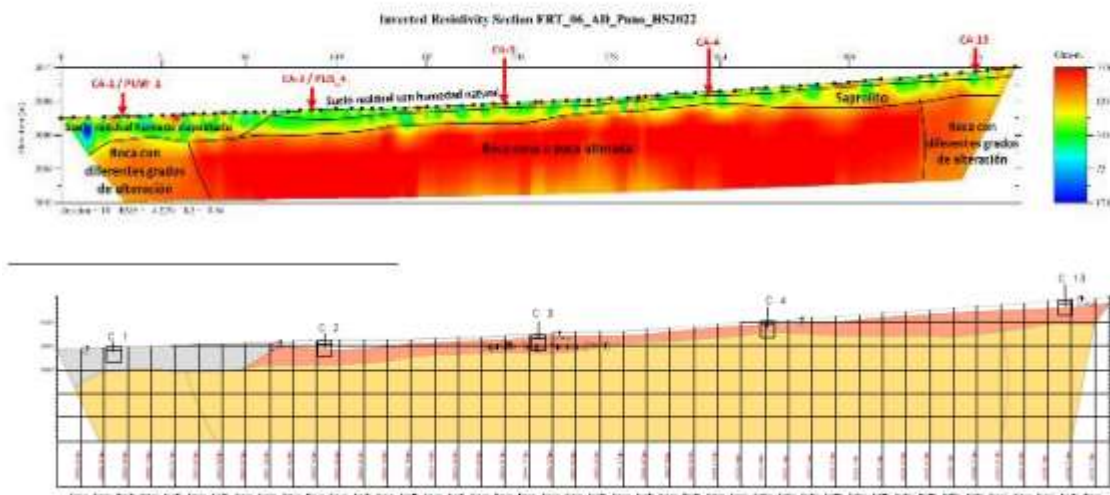
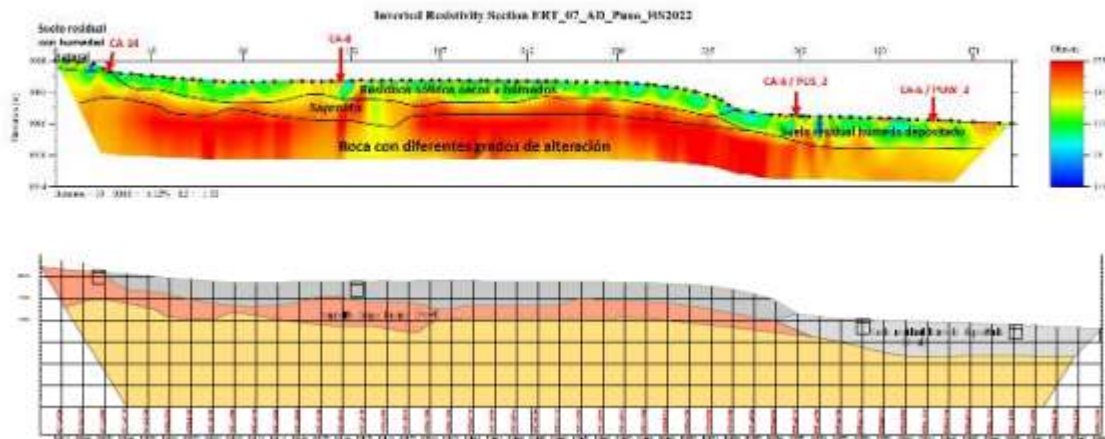


Figura 16

Perfil estratigráfico A-A



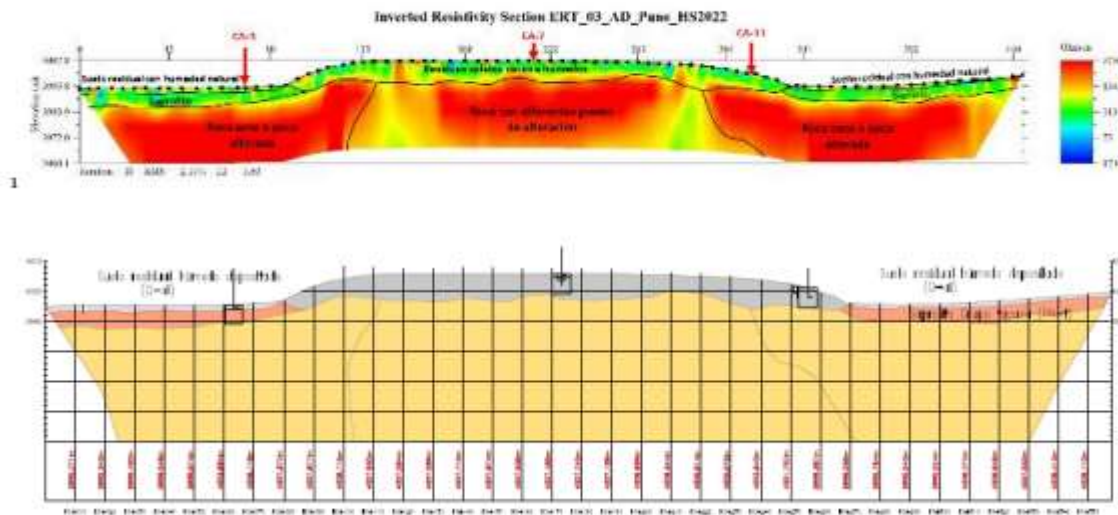
Realizando la correlación de las tomografías ERT_06, con las calicatas CA-1, CA-2, CA-3, CA-4 y CA-13. Donde en la tomografía y la CA-1 se identifica el depósito aluvial compuesto por suelo residual húmedo depositado que es la unidad hidrogeológica considerada como acuífero superficial y se extiende del noroeste al sureste del área degradada de Cancharani, sobre esta se encuentra el bofedal, suprayace al macizo rocoso con diferentes grados de alteración, esto en la planicie aluvial ondulada. En la parte de ladera de la colina de roca volcánica compuesta por las andesitas del Grupo Taza, se identifican tres capas, la superficial corresponde a suelos metorizados, suprayacidos el saprolito y la capa inferior corresponde a roca sana y en el sector norte del área degradada, se identifica roca con diferentes grados de alteración

Figura 17*Perfil estratigráfico B-B*

Se desarrolla la correlación de la tomografía ERT_07 con las calicatas CA14, CA-8, CA-6 y CA-5, donde con las calicatas 5 y 6 se ratifica el depósito aluvial, con suelos residuales poco compactos (ensayos DPL), con de 4 m en tomografía, presenta resistividades menores de 70 ohm. m, por agua y lixiviados, estos último es la pata del talud de la colina antrópica de residuos sólidos, esta última en mención presenta resistividades entre 50 a 300 ohm.m, estableciendo residuos húmedos a secos. Esta unidad esta sobre la ladera de la colina del Grupo Tacaza, en donde suprayace la capa de saprolito, que es roca meteorizada, y de manera inferior se identifica el macizo rocoso con diferentes grados de alteración. En la ladera de la colina, y con la calicata CA-14 se identifica que de manera superficial del terreno natural se encuentra un delgada capa de suelos residuales con humedad natural.

Figura 18

Perfil estratigráfico C-C



Correlacionando la información de la tomografía ERT_03, las calicatas CA-3, CA-7 y CA-11, donde se definen que de manera superficial sobre el terreno natural, en la ladera de la colina de roca volcánica, compuesta por el grupo Tacaza (PN-t) con un espesor promedio de 5 m. La capa inferior corresponde al saprolito, que es roca meteorizada que tiene un espesor promedio de 15 m, definido por la tomografía y la capa inferior corresponde a la capa de macizo rocoso sano o poco alterado en las zonas sin intervención y debajo de la capa de residuos, la cual presenta resistividades menores a 1000 ohm.m, que corresponde a residuos secos a húmedos, roca con diferentes grados de alteración. No se identifica flujo subterráneo de agua.

Los perfiles estratigráficos analizados se realizaron con base a la correlación de la visita de campo, teniendo en cuenta la exploración directa, calicatas, e indirecta, tomografías eléctricas, la topografía, geología, geomorfología, hidrología e hidrogeología, definiendo los espesores de cada capa, el comportamiento de cada unidad. Donde se obtiene que en la parte superficial de las laderas de las colinas y montañas del Grupo Tacaza es una capa de poco espesor con propiedades hidráulicas altas pero limitado por la unidad de baja permeabilidad, notable en la geofísica, donde se determinan diferentes

grados de alteración, correspondiente a la roca andesítica que compone litológicamente este grupo. En la parte baja del área degradada se identifica litológicamente, el depósito aluvial, que, por sus condiciones hidrogeológica, hidráulicas y geomorfológicas facilitan la formación de bofedales y acumulación agua temporal que discurre por los pocos drenajes existentes, siendo de flujo lento.

4.1.1 Factores internos determinantes que intervienen en la estabilidad del talud un relleno sanitario

Los factores internos fueron parámetros empleados para el cálculo del factor de estabilidad que se definieron con base a la exploración directa realizada al terreno natural y en los residuos sólidos, los resultados de los ensayos in situ y de laboratorio que están descritos en los Estudios Básicos.

Tabla 3

Densidad y humedad promedio

Parámetro	Valor	Unidad
Densidad in situ	1.79	g/cm ³
Humedad promedio	9.92	%

Tabla 4

Densidad y humedad promedio de depósito aluvial

Parámetro	Valor	Und
Densidad in situ	1.79	g/cm ³
Humedad promedio (lab)	9.92	%
Densidad promedio (lab)		g/cm ³
Cohesión	0.009	kg/cm ²
Angulo de fricción	24	°

Parámetros de residuos sólidos

Realizando una revisión integral de la exploración indirecta realizada con las tomografías eléctricas se identificó el contacto residuos con terreno natural, los cuales eran considerados como "residuos sólidos secos a húmedos" con posterior revisión se subdivide en dos capas teniendo en cuenta la resistividad eléctrica obtenida.: la primera corresponde a "residuos sólidos ligeramente húmedos" la cual presenta resistividades entre 20 a 330 $\Omega.m$ y la otra capa, presenta resistividades entre 330 a 1360 $\Omega.m$, corresponde a residuos sólidos secos. Se presume que esta última capa está seca porque está cubierta con material de cierre parcial del mismo que cubre hoy en día el área degradada de Cancharani, tal y como se describen en la caracterización geofísica de los Estudios Básicos.

Teniendo en cuenta la subdivisión de las dos capas en residuos sólidos es necesario ajustar los parámetros geomecánicos a emplear en cada capa para el análisis y evaluación del diseño de recuperación del área degradada de Cancharani.

De acuerdo con Fasset, et al. (1984), en Quian, et al. (2002), las siguientes características y condiciones de los residuos sólidos municipales (RSM) hacen que se dificulte la determinación de las propiedades de ingeniería de estos materiales:

- La composición inconsistente y heterogénea de los materiales dispuestos en un relleno sanitario resultan en propiedades ampliamente variables.
- Es difícil obtener muestras de tamaño suficientemente representativo de las condiciones reales de campo.
- La naturaleza errática de las partículas que componen los residuo dificulta su muestreo y ensayo; teniéndose que muchos laboratorios generalmente no aceptan este tipo de muestras.
- Las propiedades de los residuos cambian con el tiempo, profundidad y localización.

Por otro lado, teniendo en cuenta desarrollos tecnológicos, se puede decir que:

- Los principales parámetros de los residuos sólidos cuantificables por métodos de ingeniería son: peso unitario, contenido de humedad, porosidad, conductividad hidráulica, capacidad de campo, punto de marchitez, esfuerzo cortante (a partir de cohesión y ángulo de fricción interna), compresibilidad y relación de presión de poros.
- Los residuos dispuestos en un relleno sanitario pueden ser tratados como material geotécnico y en tal sentido poseen propiedades geomecánicas aplicables a la ingeniería dado su carácter mensurable.

Y con relación a los cálculos geotécnicos para determinar la capacidad del relleno sanitario, el diseño de clausura y la estabilidad del mismo, se señala que:

- Los parámetros requeridos para estimar la estabilidad del relleno son: peso unitario seco (γ_s), peso unitario saturado (γ_h), cohesión (c'), ángulo de fricción interna (ϕ'), relación de presión de poros (ru) y coeficiente de aceleración sísmica (Aa) con sus respectivas componentes en "X" y "Y".
- El valor promedio de los anteriores parámetros dependerá del tipo de la composición de los residuos, las etapas de conformación, procesos de compactación, reacciones bioquímicas, la ubicación de sistemas de disipación y/o alivio, drenes de lixiviados, etc.
- La degradación bioquímica de los residuos provoca que los parámetros que controlan la estabilidad varíen con el tiempo, teniéndose en líneas generales el aumento del peso unitario, el incremento de la cohesión y la reducción del ángulo de fricción.
- Los procesos de descomposición de la materia orgánica, así como la infiltración de aguas pluviales, producen y activan la generación de lixiviado y biogás, teniéndose

así el aumento de la presión de poros interna del relleno y por ende la disminución de la resistencia al esfuerzo cortante, hecho que hace necesaria la implementación de drenajes intermedios.

Peso unitario

Presentan un perfil de peso unitario vs profundidad, en donde el menor valor se sitúa en 3,3 kN/m³ en superficie incrementando hasta 11,9 kN/m³ a profundidades mayores a 50,0 m, situando así los valores promedio típicos entre 8,7 a 10,2 kN/m³. En la Tabla 4.4 se presentan un resumen de propiedades de residuos

Figura 19

Valores típicos para residuos sólidos

FUENTE	PESO UNITARIO (kN/m ³)	HUMEDAD (CONTENIDO VOLUMÉTRICO)	POROSIDAD	RELACIÓN DE VACÍOS
Rovers y Farquhar (1973)	9,3	0,16	-	-
Fungalori (1979)	9,9	0,05	-	-
Wigh (1979)	11,5	0,08	-	-
Walsh y Kinman (1979)	14,1	0,17	-	-
Walsh y Kilman (1981)	14,0	0,17	-	-
Schroeder et al. (1984a, b)	-	0,28	0,52	1,08
Oweis et al. (1990)	6,3 a 14,1	0,10 a 0,20	0,40 a 0,50	0,67 a 1,0
Schroeder et al. (1994a, b)	-	0,29	0,67	2,03
Zornberg et al. (1999)	10,0 a 15,0	0,30	0,49 a 0,62	1,02 a 1,65
González (2000)	10,8 a 11,8	-	-	-
Hidrosuelos (2002)	10,3 a 11,9	0,25	-	-

Esfuerzo cortante

Para la determinación de los parámetros que gobiernan los esfuerzos cortantes de los materiales emplazados en relleno sanitarios usualmente se han empleado las siguientes metodologías: Ensayos directos de laboratorio y de campo, retro análisis de fallamientos y

ensayos de carga y ensayos indirectos in-situ, teniéndose los resultados que se muestran en la Tabla

Tabla 5

Datos para análisis de esfuerzo cortante en residuos sólidos

REFERENCIA	TIPO DE ANÁLISIS	COHESIÓN c (kPa)	ANGULO DE FRICCIÓN ϕ (°)
Pagotto y Rimoldi (1987)	Retro análisis de ensayos de placa	28,4	22,0
Landva and Clark (1990)	Ensayos directos de carga laboratorio	22,9	24,0
Drescher (1990)		19,6	30,0
Prinz (1991)		0,0	75,0
Richardson y Reynolds (1991)	Ensayos directos de carga in-situ	10,0	18,0 a 43,0
Cowland et al. (1993)		10,0	23,0
Del Greco y Oggeri (1993)		15,7 a 23,5	21,0 a 22,0
Hidromecanicas (1993)		9,8	20,0
Fassett et al. (1994)		10,0	23,0
Kolsch (1995)		14,9 a 18,0	15,0 a 22,0
Sánchez et al. (1995)		0,0 a 19,6	16,0 a 26,0
Kavazanjian (1995)		5,0	28,0
Sharma et al. (1997)		18,8	20,0
Geosyntech (1998)		18,6	28,0
Integral (1998)		19,6	20,0
Mazzucato et al. (1999)	Residuos recompactados	22,0	17,0
Mazzucato et al. (1999)	Muestra extraída	24,0	18,0
González y Espinosa (2000)	Triaxial, piezocono sísmico, SPT	4,6	23,8
Hidroestudios Integral (2001)	Triaxial	12,3 a 24,5	20,0 a 28,0
Enriquez Zamudio (2016)	Corte directo	19,5 a 32,3	29,2 a 29,6

Presión de poros

Se proyecta que la relación de presión de poros (R_u) a encontrar en el área degradada por residuos sólidos, podrá ser de un promedio máximo de 0,1 para los residuos dispuestos conteniendo biogás adecuadamente liberado por medio de las chimeneas, ya que actualmente, según los Estudios Básicos de Ingeniería, presenta bajo caudal y altas concentraciones de metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2).

Modelación de la estabilidad actual**Tabla 6***Parámetros para la modelación es la estabilidad actual*

PARÁMETRO	PESO ESPECIFICO (KN/m ³)	COHESIÓN c KN/m ²	ÁNGULO DE FRICCIÓN Ø	PRESIÓN DE POROS ru	COEFICIENTE DE SISMICIDAD
Residuos sólidos secos	15	83,94	31	0	0,175
Residuos sólidos ligeramente húmedos	15	83,94	31	0,1	0,175
Roca con diferentes grados de alteración-andesitas	17,36	6,85	26,6	0,1	0,175
Saprolito-andesitas	17	5	28	0,1	0,175
Depósito aluvial	17,66	0,88	24	0,15	0,175
Cobertura de residuos	17	5	26,6	0,1	0,175

Factores internos determinantes**Tabla 7***Factores internos*

PARÁMETRO	PESO ESPECIFICO (KN/m ³)	COHESIÓN c KN/m ²	ÁNGULO DE FRICCIÓN Ø	PRESIÓN DE POROS ru	COEFICIENTE DE SISMICIDAD
Residuos sólidos	15	83,94	31	0,1	0,175

Roca con diferentes grados de alteración-andesitas	17,36	6,85	26,6	0,1
Saprolito-andesitas	17	5	28	0,1
Depósito aluvial	17,66	0,88	24	0,15

4.1.2 Factores externos determinantes que intervienen en la estabilidad del talud de un relleno sanitario

Sismicidad

Figura 20

Norma diseño sismo resistente E.030



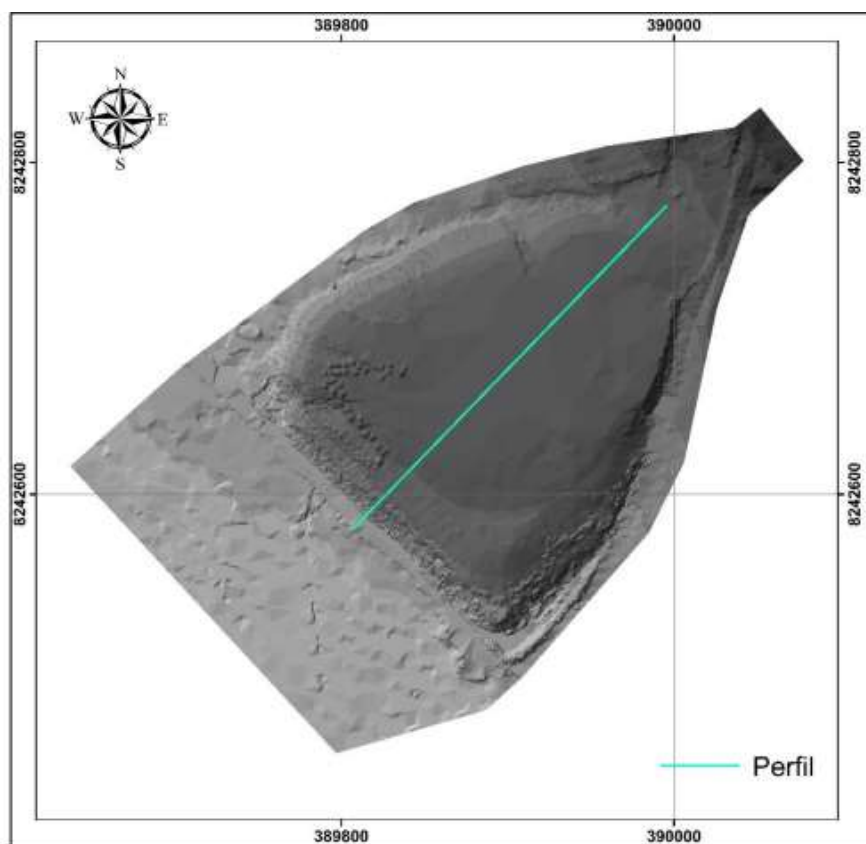
Coefficiente sísmico horizontal y vertical

Para el análisis de estabilidad de taludes en condición pseudo - estática se recomienda emplear un coeficiente sísmico igual a 1/2 de la aceleración máxima - PGA (Hynes y Franklin, 1984). Se recomienda en este proyecto (criterios de diseño) usar el valor de k_h como coeficiente sísmico, correspondiente a 1/2 de la aceleración máxima esperada para un periodo de retorno de 475 años ($PGA=0,25g$).

$$K_h \text{ y } K_v = 0,5 (0,35) = 0,175$$

Estabilidad actual del área degradada

El área degradada por residuos sólidos en el sector Cancharani del distrito de Puno actualmente presenta una geometría de apariencia estable, donde se cartografía geomorfológicamente como "Colina de relleno antrópico" y suprayace al terreno natural compuesto por andesitas con diferentes grados de alteración del Grupo Tacaza (PN-t). En la Figura 4.3 se observa el perfil al que se modela la estabilidad de la geometría actual, se selecciona este perfil porque presenta una altura mayor a 15 m , se presenta la mayor pendiente con respecto a los demás taludes del domo a pesar que presenta cobertura terrea y en algunas zonas cobertura vegetal con "pajonal andino- ichu" y el longitudinal a la masa de residuos dispuesta actualmente. Teniendo en cuenta que en la exploración realizada en los Estudios Básicos de ingeniería no se detectó la napa freática.

Figura 21*Perfil de estabilidad*

Se realiza el análisis de estabilidad de las condiciones topográficas actuales en dos escenarios para el mismo perfil, de máxima precipitación y con el coeficiente de presión de poros. A continuación, se contemplan los dos escenarios mencionados:

En condición de máxima precipitación

Teniendo en cuenta la geometría actual del área degradada con residuos sólidos en el sector Cancharani del distrito Puno se realiza la estabilidad de la misma en condiciones críticas, en este caso de máxima precipitación.

Para esto, se tuvo en cuenta lo reportado por el SENAMHI y plasmado en los Estudios Básicos, en el estudio Hidrológico, donde se realizó la estimación de precipitación máxima en diferentes periodos de retorno, tal y como se expresa en la

Tabla 8

Precipitación máxima para diferente tiempo de retorno

PERIODO DE RETORNO (AÑOS)	PRECIPITACIÓN MÁXIMA 24 H (mm)
200	77.4
100	71.7
50	66
20	58.3
10	52.4
5	46.2
3	41.3
2	36.9

Más se identificó que históricamente, en los datos del SENAMHI, se presentó una precipitación máxima que supera las estimadas en la tabla anterior, la cual fue el 28 de octubre de 2007 y se reportó como precipitación máxima de 100 mm en 24 horas.

A continuación, en la figura se observa la modelación en condiciones estáticas con la infiltración de 100 mm/día, al igual que en la Figura 4.5, está última en condiciones pseudoestáticas

Figura 22

Perfil en condiciones estáticas

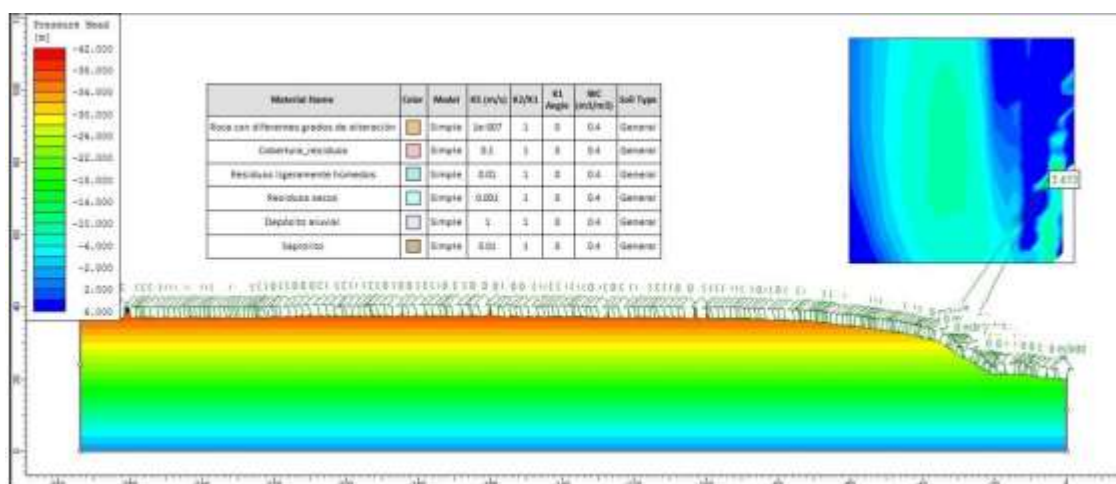
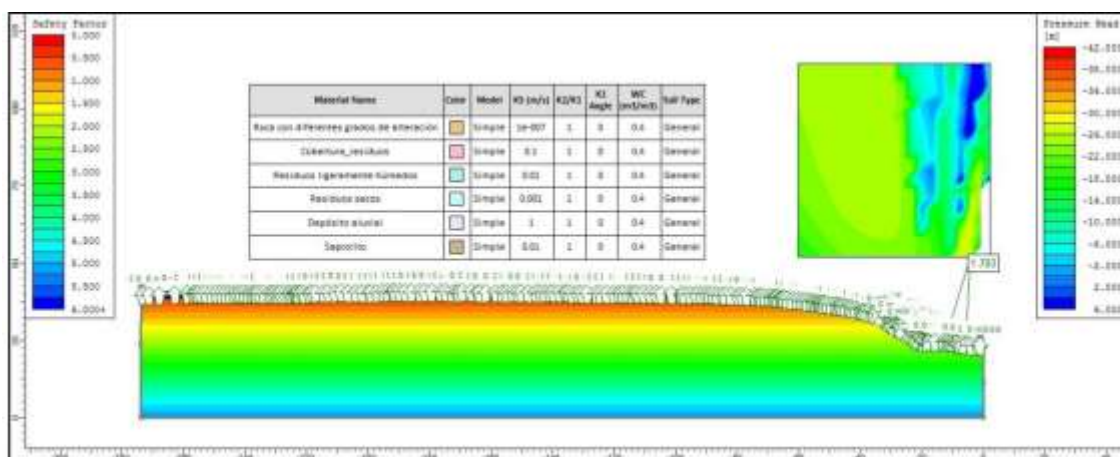


Figura 23

Perfil en condiciones pseudoestáticas



Los factores de seguridad obtenidos en circunstancias máximas de precipitación en condiciones estáticas y pseudoestáticas se resumen en la siguiente tabla

Tabla 9

Grado de compactación de la subrasante +15% de ceniza de carbón

FACTOR DE SEGURIDAD	
En condiciones estáticas	En condiciones pseudoestáticas
3.413	1.783

Los factores de seguridad obtenidos en el perfil seleccionado para el análisis del área degradada con residuos sólidos del sector Cancharani del distrito de Puno cumplen con lo exigido en la norma peruana, CE-020.

Con coeficiente de presión de poros

Respetando la geometría actual y con los parámetros geomecánicos planteados en la Tabla 4.6 teniendo en cuenta la presión de poros que se manifiesta en cada capa identificada en el modelo geológico geotécnico, las mismas empleadas en el análisis anteriormente expuesto definidas con base a la exploración realizada en los Estudios Básicos de Ingeniería. Los coeficientes de presión de poros establecidos son relacionados

con las tomografías eléctricas y de los parámetros obtenidos de los ensayos realizados a las muestras tomadas.

En las siguientes figuras se exponen la modelación realizada a la geometría actual tanto en condiciones estáticas como pseudoestáticas, respectivamente.

Figura 24

Perfil en condiciones estáticas

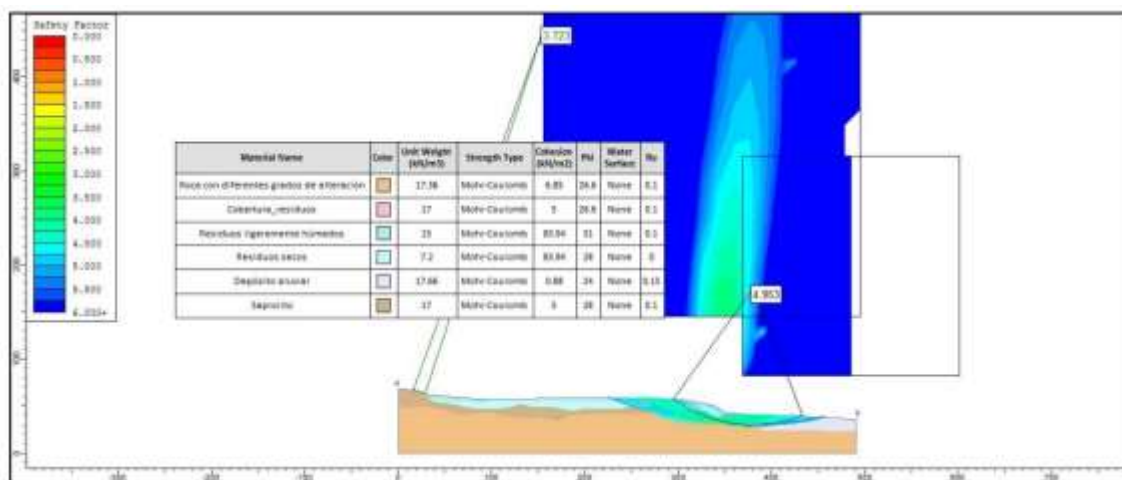
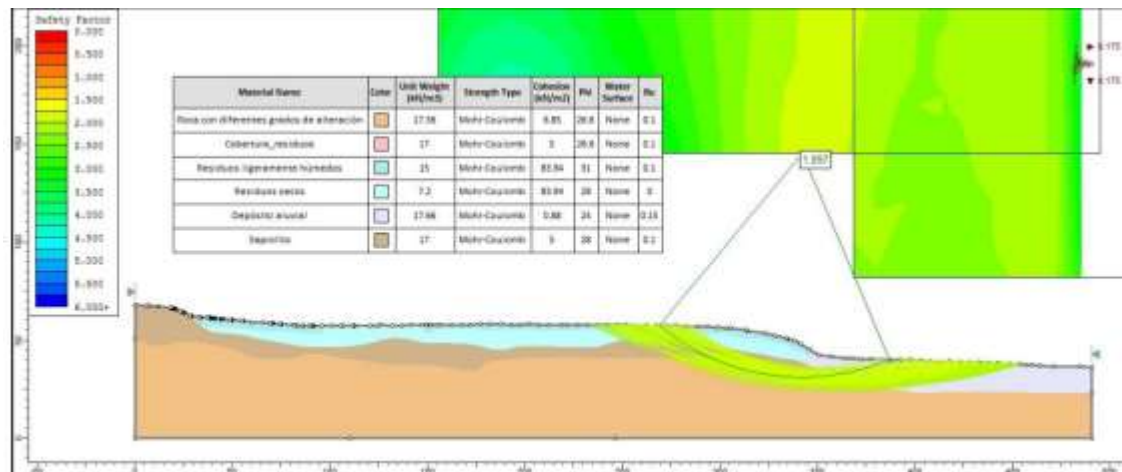


Figura 25

Perfil en condiciones pseudoestáticas



Los factores de seguridad obtenidos con coeficientes en condiciones estáticas y pseudoestáticas se resumen en la siguiente tabla

Tabla 10

Resumen de factor de seguridad

FACTOR DE SEGURIDAD	
En condiciones estáticas	En condiciones pseudoestáticas
4,953	1,752

Basados en los requerimientos de factores de seguridad mínimos establecidos por la norma peruana CE020 en condiciones estáticas de 1,5 y en condiciones de sismo o pseudoestáticas de 1,25, los resultados obtenidos en la modelación con coeficiente de poros para la geometría actual los superan. Por tanto, la geometría actual se ha comportado estable más es necesario su recuperación porque no cumple con las condiciones ambientales y mejoramiento de su entorno ni con la normativa peruana actual.

4.1.3 Propuesta para mejorar la estabilidad del talud de un relleno sanitario

Estabilidad de la configuración de recuperación (sin cobertura)

Actualmente el área degradada con residuos sólidos no se encuentra cerrada ni recuperada según la normativa peruana y viene generando inconvenientes ambientales a su área de influencia. Por tanto, con base a lo establecido en la "Guía de formulación del Plan de recuperación de áreas degradadas por residuos sólidos municipales" se han planteado las condiciones técnicas necesarias, para reconfigurar la geometría de la masa de residuos y recuperar el área de interés por medio de cierre técnico.

Se realiza el análisis de estabilidad de la proyección de la configuración de taludes para la recuperación del área degradada con residuos sólidos en el sector Cancharani del distrito

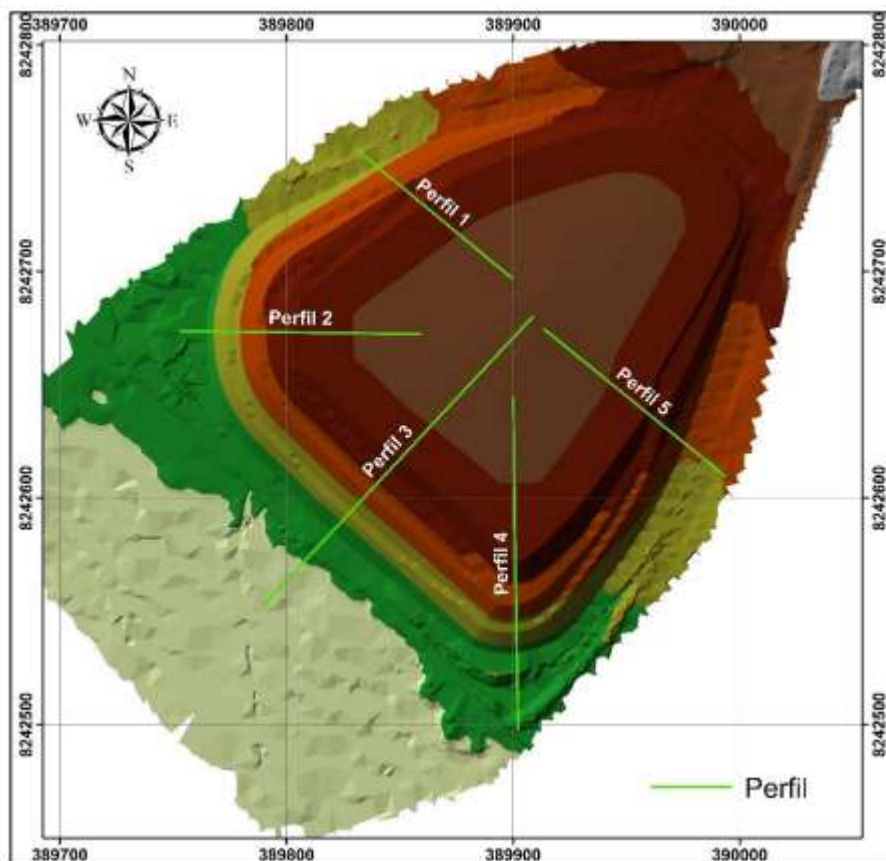
Puno, la cual tiene taludes de 27° de inclinación, 2H:1V, a 5 m de altura con banquetas de 5 m de ancho.

Empleando los parámetros geomecánicos planteados en la tabla anterior se realiza el análisis de estabilidad tanto en condiciones estáticas como en condiciones pseudoestáticas, es decir, con sismo, teniendo en cuenta el coeficiente sísmico

En la siguiente figura se observa el perfil de estabilidad con la configuración de los taludes para la recuperación del área degradada por residuos sólidos en el sector de Cancharani del distrito de Puno, provincia de Puno, departamento de Puno.

Figura 26

Perfiles de estabilidad



Las modelaciones de factor de seguridad en las condiciones mencionadas anteriormente se observan en las figuras siguientes:

Figura 27

Perfil 1 en condiciones estáticas

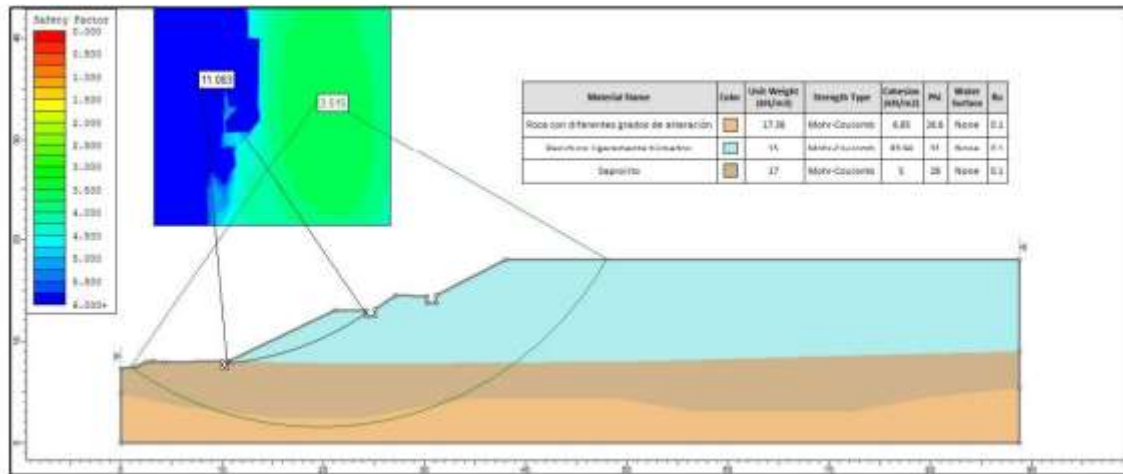


Figura 28

Perfil 1 en condiciones pseudoestáticas

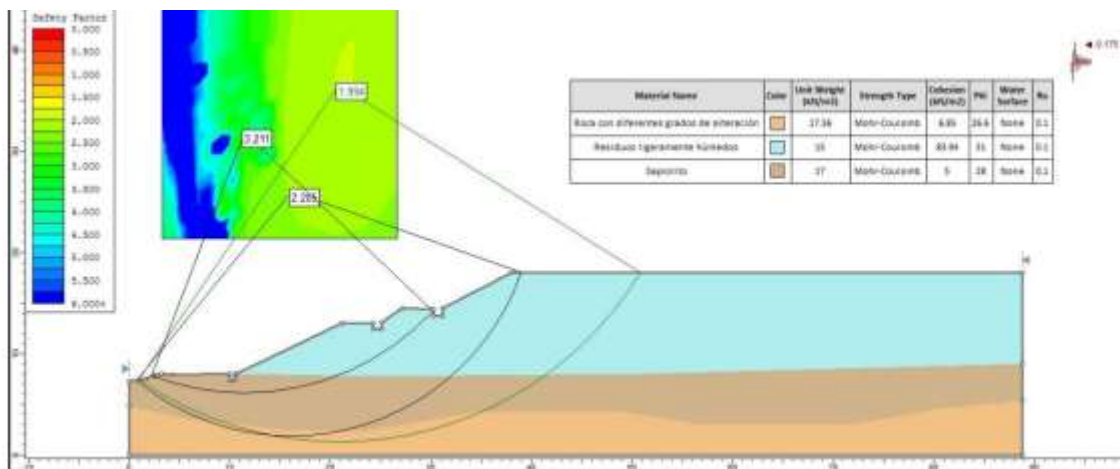


Figura 29

Perfil 2 en condiciones estáticas

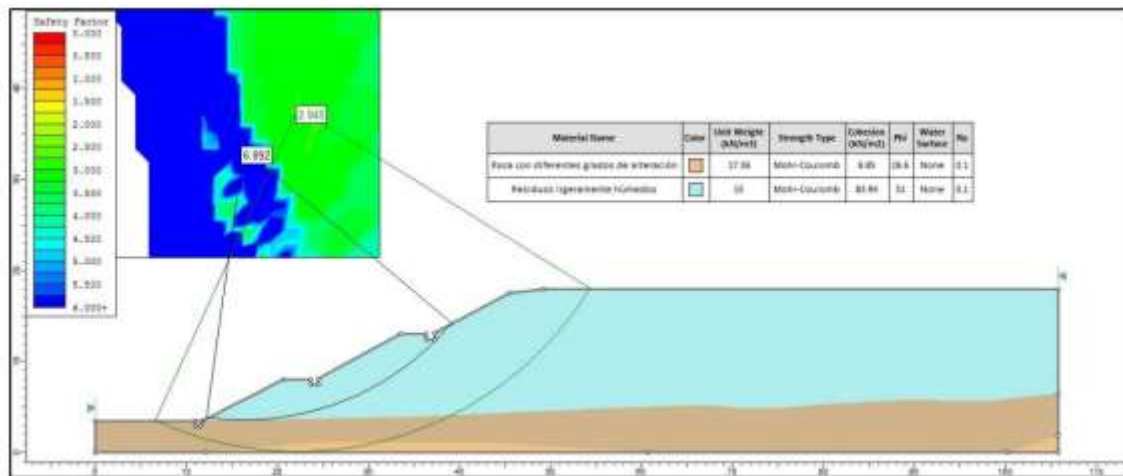


Figura 30

Perfil 2 en condiciones pseudoestáticas

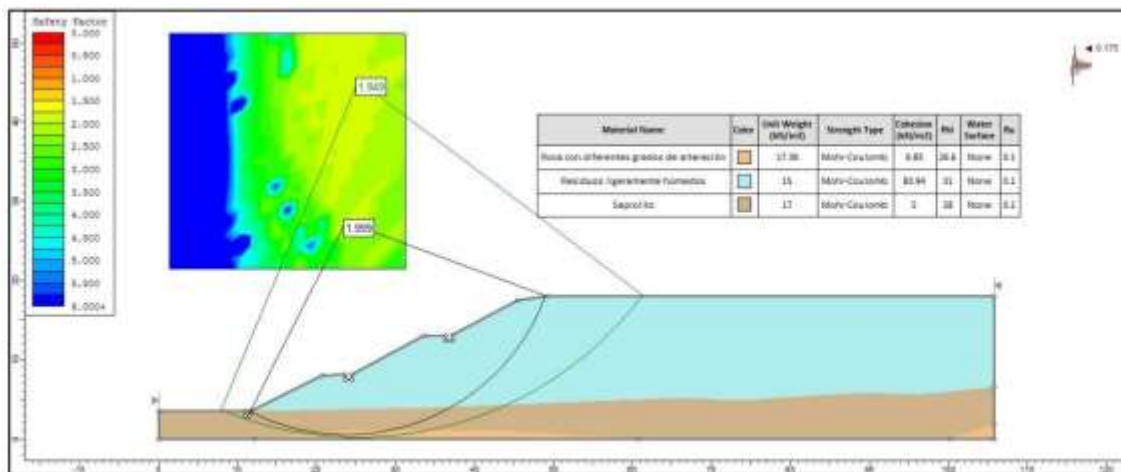


Figura 31

Perfil 3 en condiciones estáticas

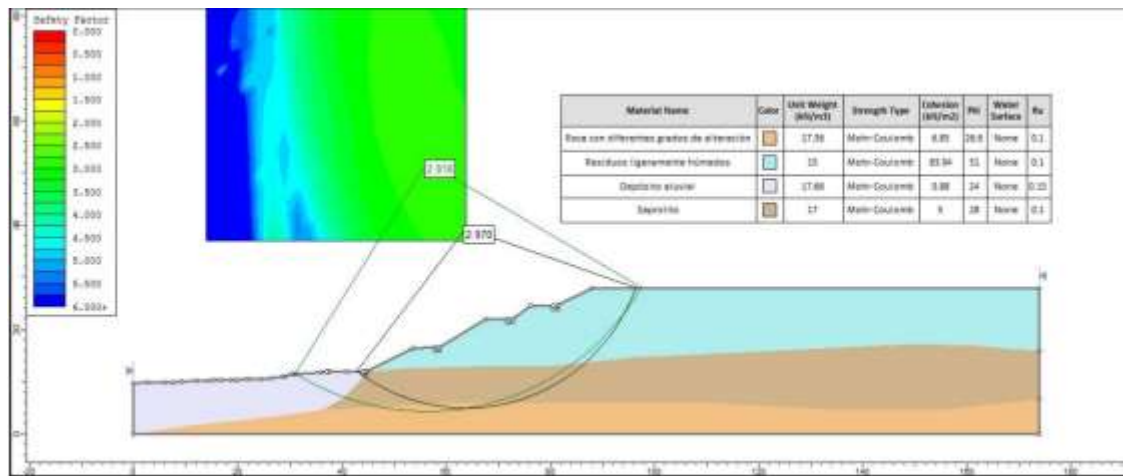


Figura 32

Perfil 3 en condiciones pseudoestáticas

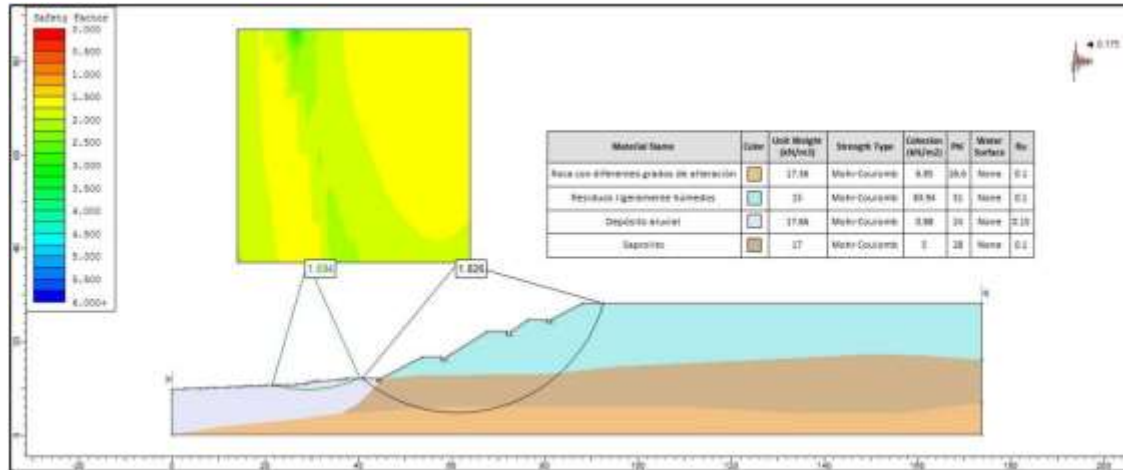


Figura 33

Perfil 4 en condiciones estáticas

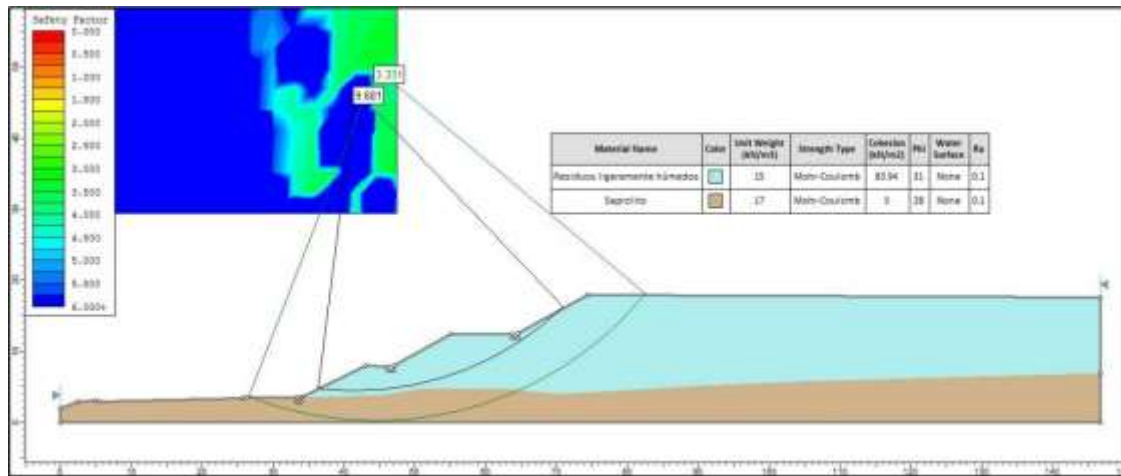


Figura 34

Perfil 4 en condiciones pseudoestáticas

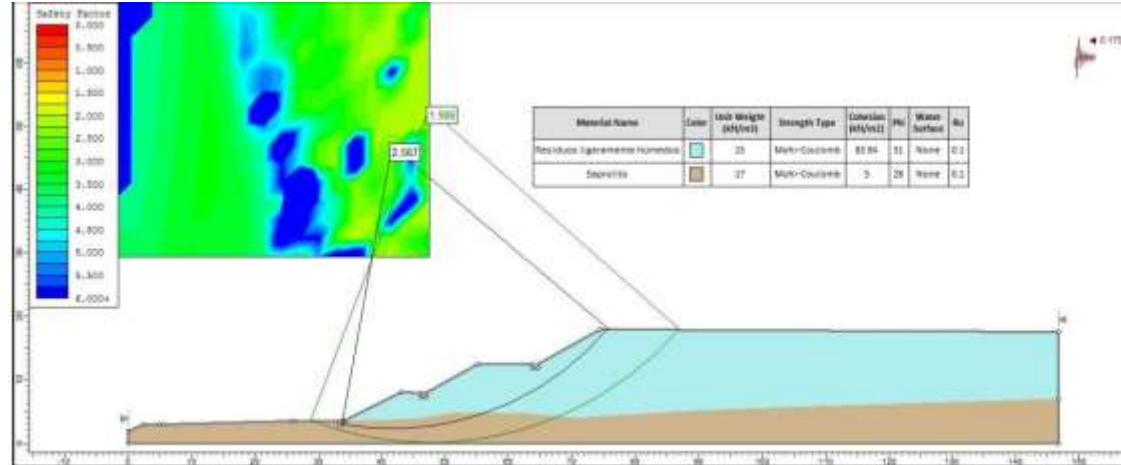


Figura 35

Perfil 5 en condiciones estáticas

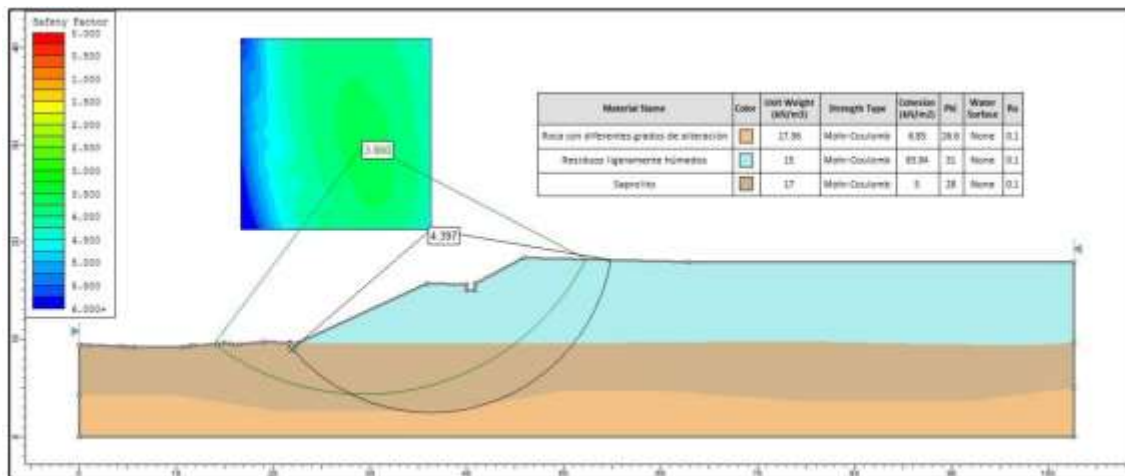
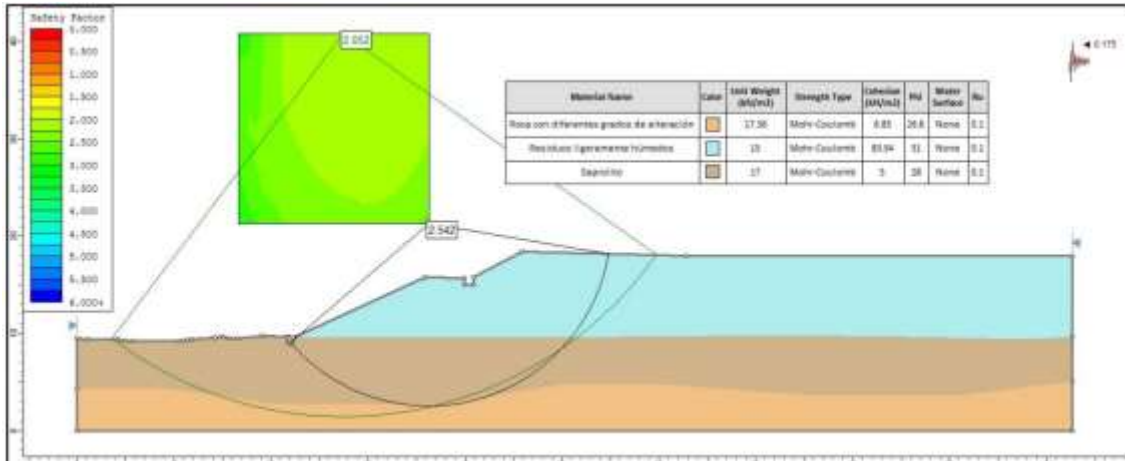


Figura 36

Perfil 5 en condiciones pseudoestáticas



Los factores de seguridad obtenidos en circunstancias máximas de precipitación en condiciones estáticas y pseudoestáticas se resumen en la siguiente tabla

Tabla 11

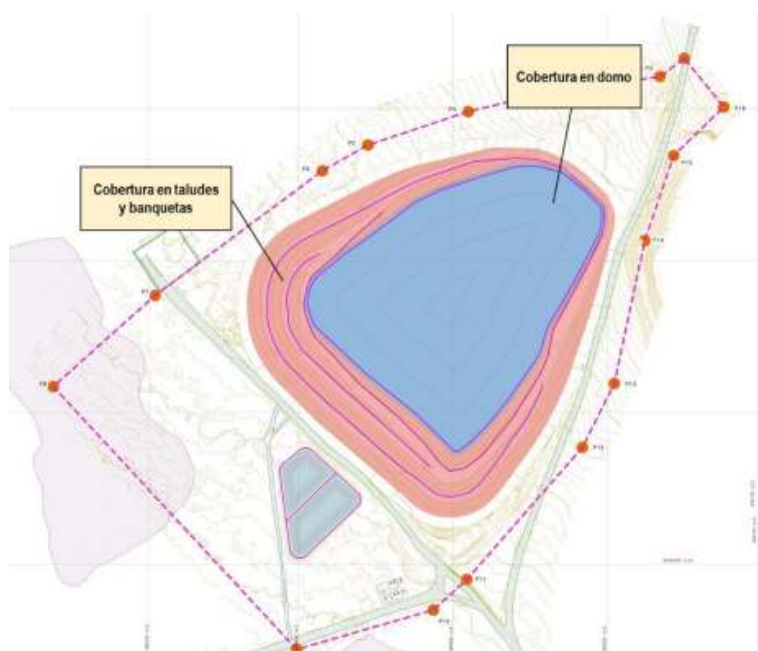
Resumen de factor de seguridad

PERFIL	FACTOR DE SEGURIDAD	
	En condiciones estáticas	En condiciones pseudoestáticas
Perfil 1	3,515	2,205
Perfil 2	2,945	1,999
Perfil 3	2,818	1,826
Perfil 4	3,331	2,567
Perfil 5	3,66	2,542

Según la normativa peruana CE-020, el factor de seguridad mínimo que debe tener un diseño es de 1,5 en condiciones estáticas y 1,25 en condiciones pseudoestáticas, y los factores de seguridad promedio de los taludes durante la construcción y con los residuos sólido expuestos son de 3,254 y 2,228, respectivamente, los cuales superan de manera significativa a lo que la norma solicita.

Figura 37

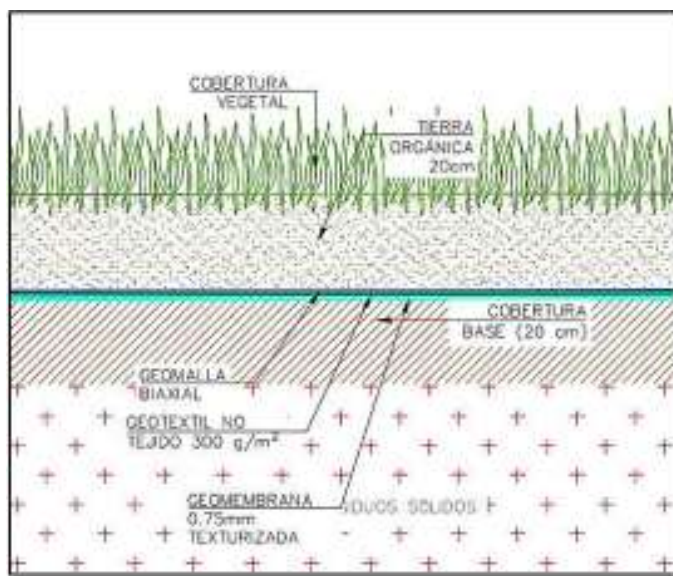
Tipos de cobertura propuestas



Fuente: Hidrosuelos, 2022.

Figura 38

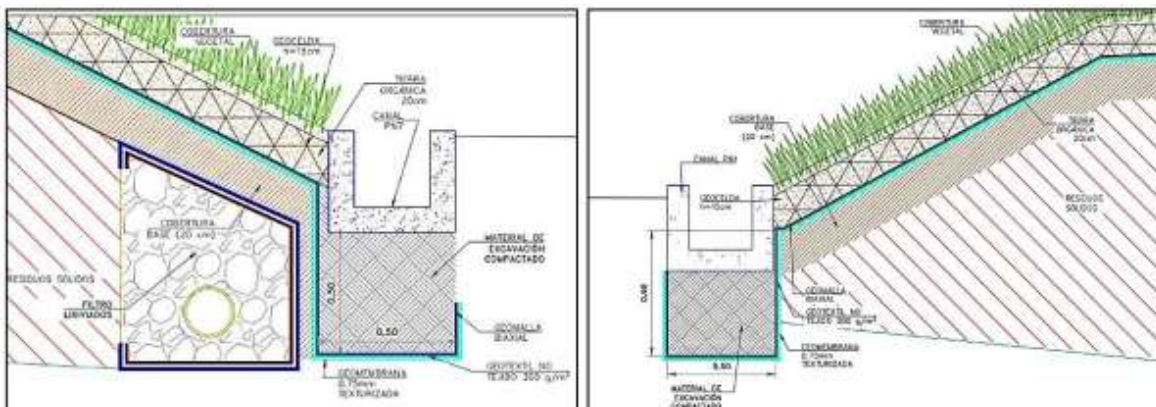
Cobertura final de domo principal



Para reforzamiento de esta capa en los taludes se refuerza con geocelda del mismo espesor, 0.15 m, la cual se ancla y refuerza con geomalla biaxial de resistencia triaxial de 75 KN/m. Ver la siguiente figura

Figura 39

Cobertura final de talud y banqueteta



Para ello se adicionan a los parámetros de diseño planteados anteriormente en el ítem 4.3.4 incluyendo los parámetros de la cobertura final. Es necesario resaltar que, los parámetros se definieron en los Estudios básicos de ingeniería, con los resultados de las

muestras del Estudio de Canteras, y el refuerzo de los geopolímeros a emplear en la cobertura final para cumplir con la normativa peruana.

Tabla 12

Parámetros de diseño con cobertura final

PARÁMETRO	PESO ESPECIFICO (KN/m ³)	COHESIÓN c KN/m ²	ÁNGULO DE FRICCIÓN Ø	PRESIÓN DE POROS ru	COEFICIENTE DE SISMICIDAD
Residuos sólidos	15	83.94	31	0	0.175
Roca con diferentes grados de alteración-andesitas	17.36	6.85	26.6	0.1	
Saprolito-andesitas	17	5	28	0.1	
Depósito aluvial	17.66	0.88	24	0.15	
Cobertura final+Geocelda	20	60	20	0.1	
Cobertura final	20	8.82	28	0.1	
Cobertura base	17	5	28	0.1	

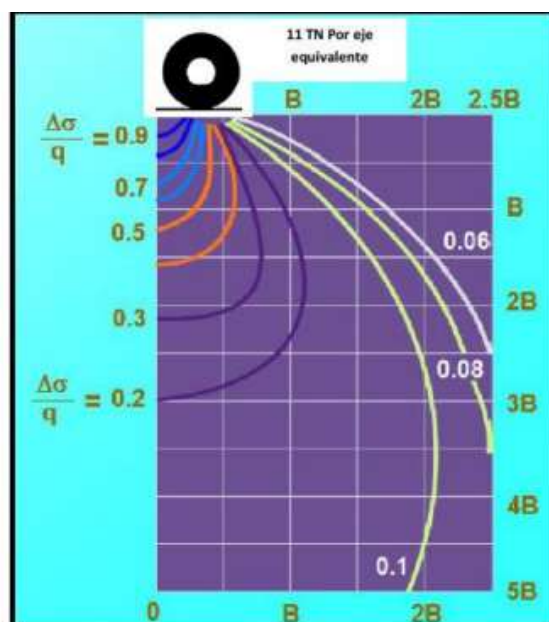
La modelación de estabilidad de los taludes proyectados por la reconfiguración del área degradada se realiza de manera global a los cinco perfiles, y contempla el comportamiento geomecánico de los materiales térreos empleados tanto en la cobertura como en las obras de adecuación, como filtros, fundamento de las cunetas de manejo de aguas pluviales y filtros verticales (chimeneas). Los valores del coeficiente de presión de poros son dados según los resultados de los ensayos planteados en los estudios básicos, y en el caso de los residuos, con base a que presentará presión de poros por los fluidos que se siguen generando tanto líquidos como gaseosos, los cuales disminuirán gradualmente con respecto al tiempo de impermeabilización y cierre técnico del área degradada por residuos sólidos.

4.2 Discusión de resultados

En condiciones de carga dinámica durante la construcción; Con base a los factores de seguridad obtenidos, el Perfil 3 se obtuvieron los datos mínimos con respecto a los demás, se modela este perfil con las cargas de vehículos de movilización de tierras en el remoldamiento o reconformación de residuos, los cuales se estiman que pesen menos de 25,5 toneladas ≈ 250 kN, como tipo retroexcavadora o tractor Cat D6 de 22 toneladas, o tipo volquetes de 13 toneladas. Como se puede apreciar en el presente gráfico las cargas móviles producidas tienden a disiparse en estructuras debidamente compactadas, logrando disminuir el trasvase de cargas a profundidades mayores de 0,60 m según pruebas desarrolladas a diferentes tipos de suelos, con CBR menores de 30% con bajo índice de plasticidad debemos de tomar en cuenta que se tiene un factor de seguridad de 3% para casos de eventuales fallas por asentamientos, los cuales podrían producirse en casos de eventos sísmicos

Figura 40

Efecto dinámica de la carga viva de vehículos



Se selecciona el Perfil 3 contemplado en la Figura 4.8 para la modelación del factor de seguridad en condiciones extremas durante la construcción o reconformación de taludes

en la recuperación del área degradada por residuos sólidos, ya que, se obtuvieron los menores factores de seguridad en la modelación realizada anteriormente.

Las condiciones a tener en cuenta en esta modelación incluyen las cargas dinámicas máximas proporcionadas por los vehículos que se emplearán durante la reconfiguración de talud y movimiento de tierras (un máximo de 250 KN/m²), que se sitúan en cada banqueta y en caso de presentarse una carga de agua causada por precipitación durante la obra.

Figura 41

Perfil 3 en condiciones estáticas

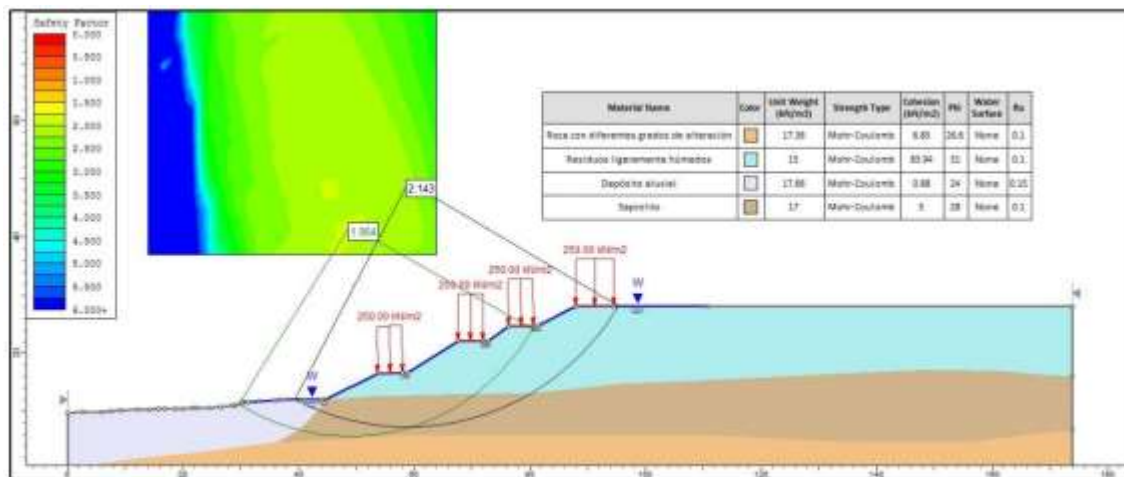
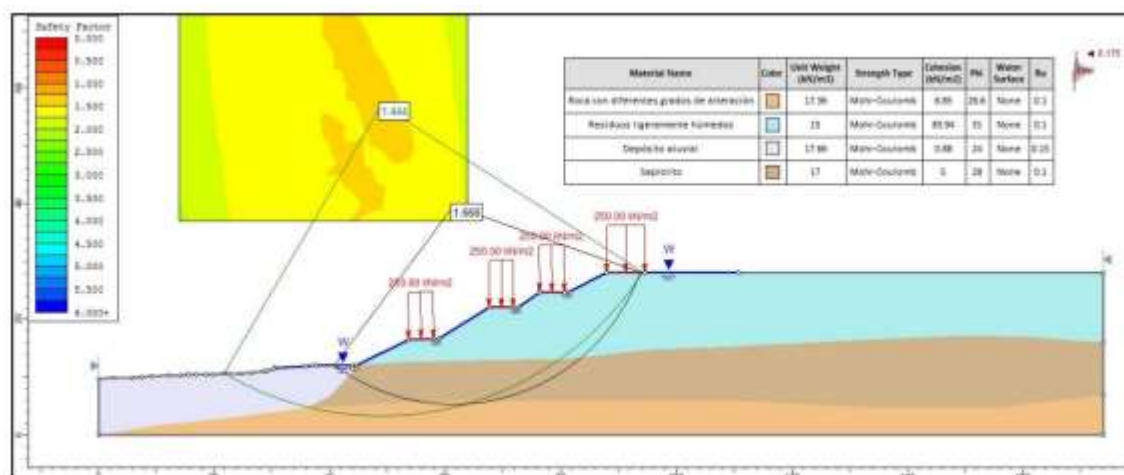


Figura 42

Perfil 3 en condiciones pseudoestáticas



Los factores de seguridad obtenidos en condiciones extremas durante la construcción tanto en estado estático como pseudoestático cumplen con los requerimientos de la norma CE-020 suelos y taludes, superando notablemente los valores de 1,5 y 1,25, respectivamente, tal y como se manifiesta en la siguiente tabla.

Tabla 13

Factores de seguridad en condiciones extremas en construcción

PERFIL	FACTOR DE SEGURIDAD	
	EN CONDICIONES ESTÁTICAS	EN CONDICIONES PSEUDOESTÁTICAS
Perfil 3	2,143	1,668

Cabe resaltar que las cargas dinámicas empleadas en la modelación son superiores a maquinaria propuesta en el Expediente técnico para la construcción de la recuperación del área degradada del sector Cancharani. Es decir que las cargas dinámicas inferiores a 250 KN \approx 25 toneladas no generarán inconvenientes en la estabilidad durante la obra.



CONCLUSIONES

PRIMERA. Se realizó la evaluación de la estabilidad de los taludes definitivos teniendo en cuenta las condiciones estáticas y pseudoestáticas, tanto con cobertura final como sin ella y verificó el cumplimiento de los factores de seguridad con la norma peruana CE-020, la cual expresa que deben ser superiores a 1,5 y 1,25, respectivamente a las condiciones expuestas.

SEGUNDA. Se determinaron los parámetros geomecánicos para la modelación con base a lo obtenido en los datos recolectados de manera in situ y los resultados de los ensayos de laboratorio realizados en la caracterización geotécnica de los Estudios básicos y ajustados con información secundaria de estudios realizados con anterioridad en la zona de estudio y los parámetros de los geopolímeros que se emplearán en la cobertura final.

TERCERA. Se ejecutó la modelación de estabilidad al Perfil 3 en condiciones extremas durante la construcción donde se tiene en cuenta las cargas dinámicas de los vehículos y/o maquinaria a emplear durante la construcción de la obra ($250 \text{ KN/m}^2 \approx 25.5$ toneladas/m²) y con la tabla de agua que se generaría en condiciones de precipitación, donde los factores de seguridad de 2.143 y 1.668 en estado estático y pseudoestático, respectivamente, los cuales cumplen con los requerimientos de la norma CE-020 suelos y taludes.



RECOMENDACIONES

PRIMERA. Se recomienda que las cargas dinámicas a emplear durante la obra no superen las 25 toneladas/m² (250 KN/m²) en cada banqueteta, es decir, emplear maquinaria de peso inferior al mencionado, de esa manera, se disminuye la posibilidad de un evento geotécnico desfavorable para el proyecto. Se recomienda que durante la construcción se mantenga la conformación del talud conforme a lo propuesto en el diseño teniendo en cuenta el proceso constructivo descrito en el Expediente Técnico.

SEGUNDA Se recomienda que el movimiento de tierras y residuos y la reconfiguración del talud se realice de manera descendente, de tal forma que se generen banquetetas y el acceso de maquinaria, tal y como se plantea en el proceso constructivo.

TERCERA. Se recomienda mantener todas las especificaciones técnicas para la construcción de las obras complementarias planteadas (vía de acceso, señalización y el cerco perimétrico) en el diseño teniendo en cuenta el proceso constructivo.



REFERENCIAS

- Xing,gao.and Weiyu, Wang, «Analysis of influence of adjacent side length of deep foundation pit on pit angle effect,» *Ciencia e Ingeniería de los Materiales*, vol. 592, p. 2, 2019.
- M. M B, "Geotechnical solutions for high-rise construction in the areas with significant elevation," *Ciencia e Ingeniería de los Materiales*, vol. 913, pp. 1-2, 2020.
- D. WanYan, "Application of Deep Foundation Pit Support Technology Based on Big Data Analysis in Construction Engineering Construction," *Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente*, vol. 1543, pp. 1-2, 2020.
- G. M. Napa Ercilla, «Optimización de procesos constructivos de cimentación aplicando metodología top down en edificaciones de oficinas en la ciudad de lima.,» Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC), LIMA, 2019.
- W. R. Méndez Castro, «Evaluación estructural del sistema de cimentación con pilotes para edificios altos en Trujillo 2019,» Universidad Privada del Norte, LIMA, 2019.
- Molina-Gómez, Fausto; Ruge, Juan, Carlos; Camacho-Tauta, Javier, "Variabilidad espacial un suelo arcilloso del sector Sabana Centro para la confiabilidad de asentamientos por consolidación primaria: caso de estudio Campus Nueva Granada.," *Ingeniería y Ciencia*, vol. 14, no. 27, pp. 179-205, 2018.
- A. d. I. C. Martínez Gallardo, "Determinación de asentamientos en cimentaciones superficiales sobre suelos no saturados," Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, 2019.
- L. Shi, W. Yu and L. Fu, "Deformation analysis of deep foundation pit in soft soil area considering space time effect," *The Journal of Engineering*, vol. 2019, no. 11, pp. 8274-8281, 2019.



- W. Bo, P. Yiyong, M. Guowang and H. Wei, "Empirical Method and Finite Element Analysis of Deep Foundation Pit Excavation in Ningbo Soft Soil," ciencias de la tierra y del medio ambiente, vol. 267, no. 3, pp. 1-10, 2019.
- F. Yang, X. Qi, Y. Wu and S. Cao, "Research on deep excavation of foundation pits based on monitoring data," Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente, vol. 525, no. 5, pp. 1-6, 2020.
- F. Zhongju, F. Kai, Z. Yawan and H. Hu, "Numerical simulation study of eyeshaped foundation pit," Revista de Física, vol. 1168, no. 5, pp. 1- 8, 2019.
- R. J. Zambrano Soriano, "Consideraciones de diseño-resistente para cimentaciones profundas en la ciudad de Guayaquil," Universidad Católica De Santiago de Guayaquil, Santiago de Guayaquil, 2019.
- D. d. J. Pantoja Calderón and L. V. Pérez Canedo, "Análisis comparativo entre metodologías analíticas tradicionales y de elementos finitos para el diseño geotécnicos de cimentaciones," Universidad de Cartagena, cartegena, diciembre 2019.
- M. Chikhaoui, N. Belayachi, A. Nechnech and D. Hoxha, "Experimental Characterization of the Hydromechanical Properties of the Gypsum Soil of Sebkha of Oran," Periodica Polytechnica Civil Engineering, vol. 61, no. 4, p. 706–717, 2017.
- Echeverri-Ramirez, "Geotechnical characterization of the silt from the terrace of the municipality of Olaya in Antioquia, Colombia," Boletín de Ciencias de la Tierra, vol. 39, no. 49, pp. 49-56, 2016.
- L. Idelfonso Huaranga, "Diseño de cimentación en suelos tropicales para torres de comunicación en los centros poblados de la selva," Universidad San Ignacio De Loyola, San Ignacio, 2020.
- M. A. Gonzales Guillen and M. Huilahuaña Mamani, "Análisis, diseño y procesos constructivo del muro pantalla en edificio de 7 niveles y 3 sótanos," Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa, 2019.



- S. A. De la Cruz Vega y E. N. Noel Cornelio, «Geomechanical characteristics of controlled backfill soil for foundations, Pucallpa, Peru,» Journal of the Selva Andina Biosphere, vol. 10, nº 1, p. 32, 2019.
- C. Castrejo Ramírez, «Determinación de los parámetros geotécnicos mediante ensayo de penetración estándar y corte directo en la habilitación urbana fundo La Peña-Lmabayequé, 2018,» Universidad Señor de Sipán, Pimentel, 2018.
- Reglamento Nacional de Edificaciones., suelos y cimentaciones, Lima, 2019, p. 35.
- W. Serquén Rodríguez, Ingeniería Geotécnica, LAMBAYEQUE - PERU , 2016.
- Sociedad Mexicana de Ingeniería Geotécnica, Ingeniería de cimentaciones profundas 1, Mexico , 2017.
- Valencia, J. Camapum and L. Lara, "APLICACIONES ADICIONALES DE LOS RESULTADOS DE PRUEBAS DE CARGA ESTÁTICAS EN EL DISEÑO GEOTÉCNICO DE CIMENTACIONES," DYNA, vol. 79, no. 175, p. 183, 2011.
- H. J. E. Alva, Diseño de cimentaciones, LIMA: ICG, p. 97.
- B. M. Das, Fundamentos de ingeniería geotécnica, Cuarta ed., Ciudad de México: CENGAGE Learning, 2014.
- C. V. Angarita and M. Y. J. Acevedo, "Comportamiento Hidromecánico de materiales Granulares Marginales de Subbase Identificadas como MGM-2," Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, 2022.
- B. C. M. Buenfil, «Caracterización experimental del comportamiento hidromecánico de una arcilla compactada,» Universitat Politècnica de Catalunya, Catalunya, 2007.
- Norma Ecuatoriana, NEC., GEOTÉCNIA Y CIMENTACIONES, Ecuador : Dirección de Comunicación Social, MIDUVI, 2014, p. 49.
- Norma Ecuatoriana, NEC., GEOTECNIA Y CIMENTACIONES, Ecuador: CAMICON, 2014.
- Reglamento Nacional de Edificaciones, suelos y cimentaciones, lima, 2019, p. 37.
- Reglamento Nacional de Edificaciones, suelos y cimentaciones, LIMA, 2019, p. 39.
- Reglamento Nacional de Edificaciones, suelos y cimentaciones, lima, 2019, p. 40.



R. Hernández-Sampieri, C. Fernández Collado and M. d. P. Baptista Lucio, Metodología de la Investigación: Las rutas cuantitativas, cualitativa y mixta, Ciudad de Mexico: McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V., 2018

Reglamento Nacional de Edificaciones, Suelos y Cimentaciones, Lima, 2019, pp. 428-429.



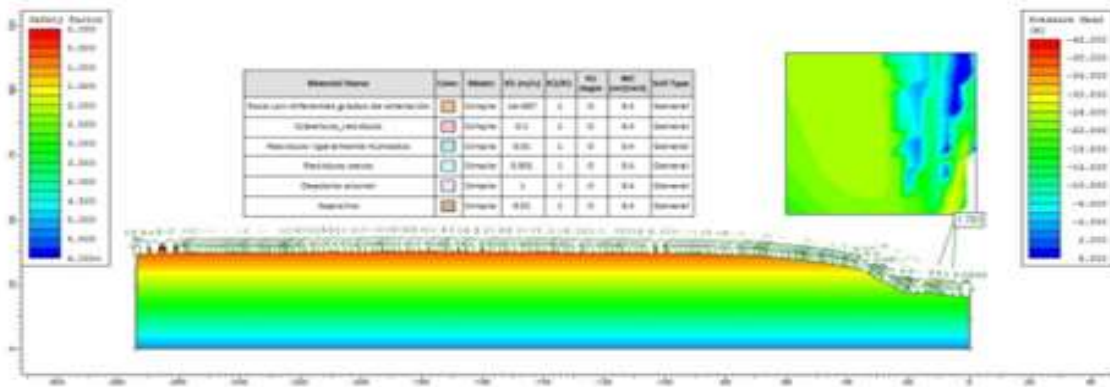
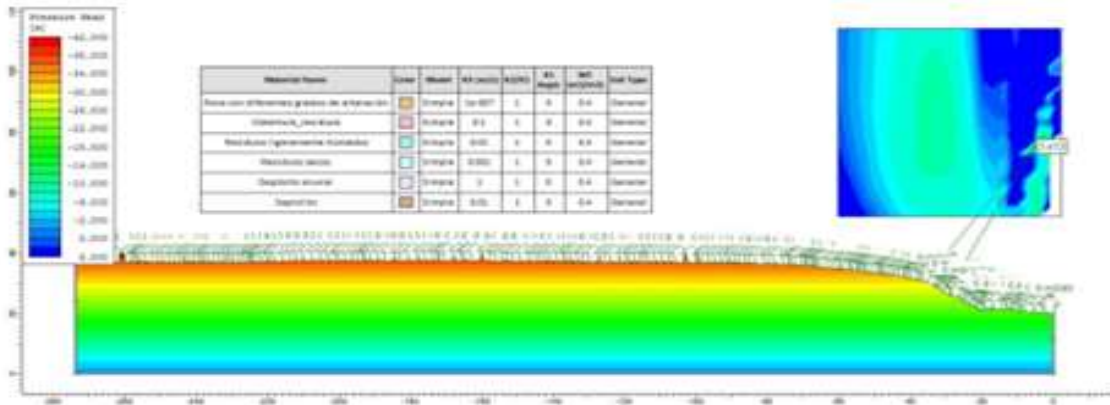
ANEXOS



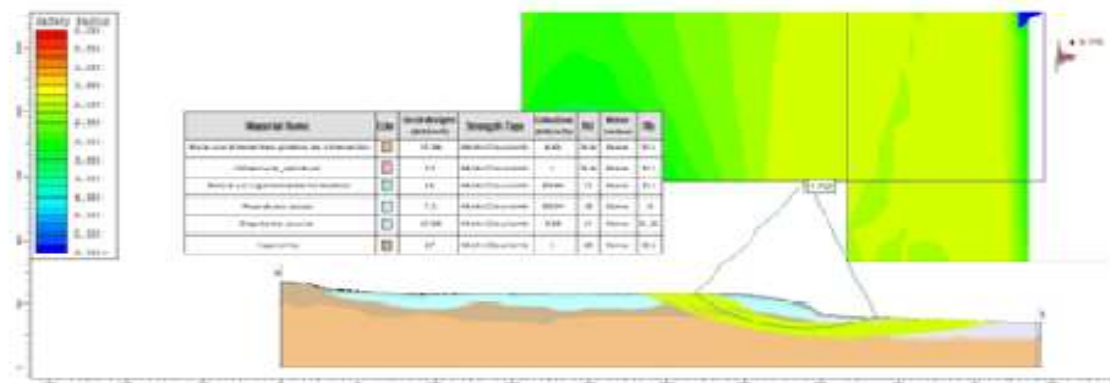
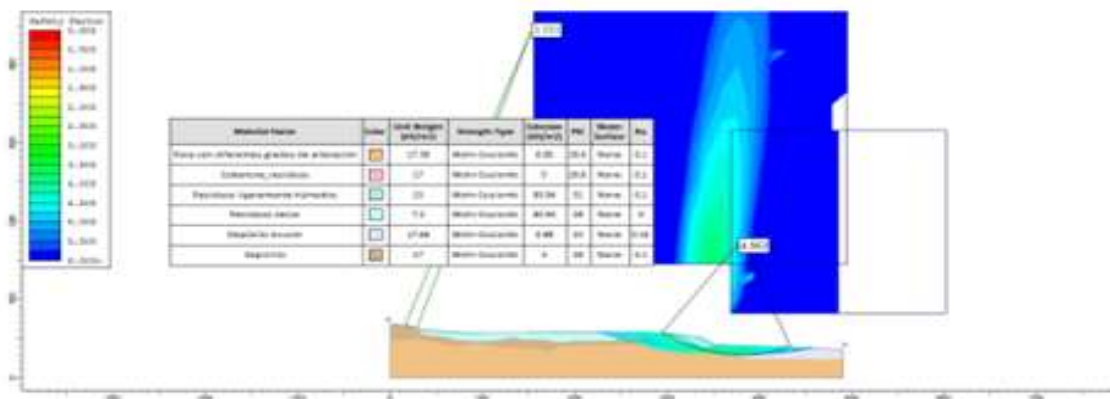
Anexo. Matriz de Consistencia

TÍTULO DE LA TESIS: EFICACIA DE LA ESTABILIDAD DEL TALUD DE UN RELLENO SANITARIO EN LA CIUDAD DE JULIACA, 2023				
Problemas	Objetivos	Hipótesis	Variables	Inst. de Medición
<p>Problema General:</p> <p>¿Cuál es el diagnóstico y eficacia de la estabilidad del talud de un relleno sanitario en la ciudad de Juliaca, 2023?</p>	<p>Objetivo General:</p> <p>Conocer la situación actual y eficacia de la estabilidad del talud de un relleno sanitario en la ciudad de Juliaca, 2023.</p>	<p>Hipótesis General:</p> <p>La situación actual es negativa y su eficacia es deficiente de la estabilidad del talud de un relleno sanitario en la ciudad de Juliaca, 2023.</p>	<p>Variable Independiente</p> <p>ESTABILIDAD DE TALUD</p> <p>Dimensiones: Factores internos y determinantes Factores internos y determinantes Propuesta</p>	<p>Hojas de cálculo Excel</p>
<p>Problemas Específicos</p>	<p>Objetivos Específicos</p>	<p>Hipótesis Específicas</p>	<p>Indicadores: Propiedades del suelo Factor de seguridad Metodo de equilibrio limite Disminución del FS Uso de gaviones</p> <p>Variable Dependiente</p> <p>RELLENO SANITARIO</p> <p>Dimensiones: Estado en general</p> <p>Indicadores: Características generales</p>	<p>Panel fotográfico</p> <p>Software de diseño de taludes -SLIDE</p> <p>Formatos</p>
<p>¿Cuáles son los factores internos determinantes que intervienen en la estabilidad del talud de un relleno sanitario en la ciudad de Juliaca, 2023?</p> <p>¿Cuáles son los factores externos determinantes que intervienen en la estabilidad del talud de un relleno sanitario en la ciudad de Juliaca, 2023?</p> <p>¿Cuál sería la propuesta para mejorar la estabilidad del talud de un relleno sanitario en la ciudad de Juliaca, 2023?</p>	<p>Identificar los factores internos determinantes que intervienen en la estabilidad del talud de un relleno sanitario en la ciudad de Juliaca, 2023.</p> <p>Determinar los factores externos determinantes que intervienen en la estabilidad del talud de un relleno sanitario en la ciudad de Juliaca, 2023</p> <p>Elaborar una propuesta para mejorar la estabilidad del talud de un relleno sanitario en la ciudad de Juliaca, 2023.</p>	<p>Los factores internos determinantes que intervienen en la estabilidad del talud son ineficientes de un relleno sanitario en la ciudad de Juliaca, 2023.</p> <p>Los factores externos determinantes que intervienen en la estabilidad del talud en de un relleno sanitario en la ciudad de Juliaca, 2023; son ineficientes.</p> <p>La propuesta ayudará en la estabilidad del talud de un relleno sanitario en la ciudad de Juliaca, 2023 pues ofrece una mayor eficacia</p>		

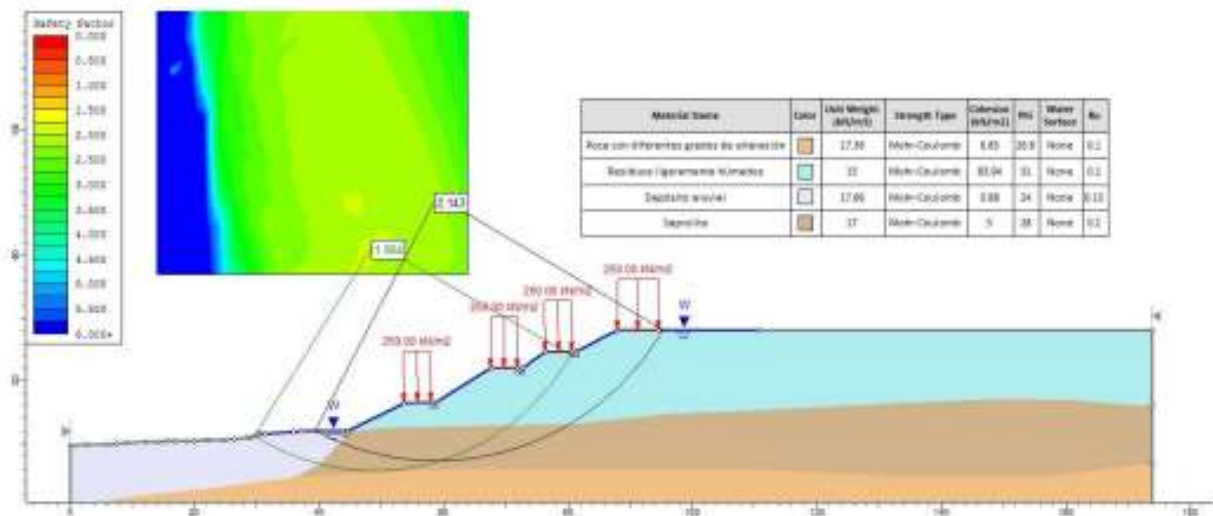
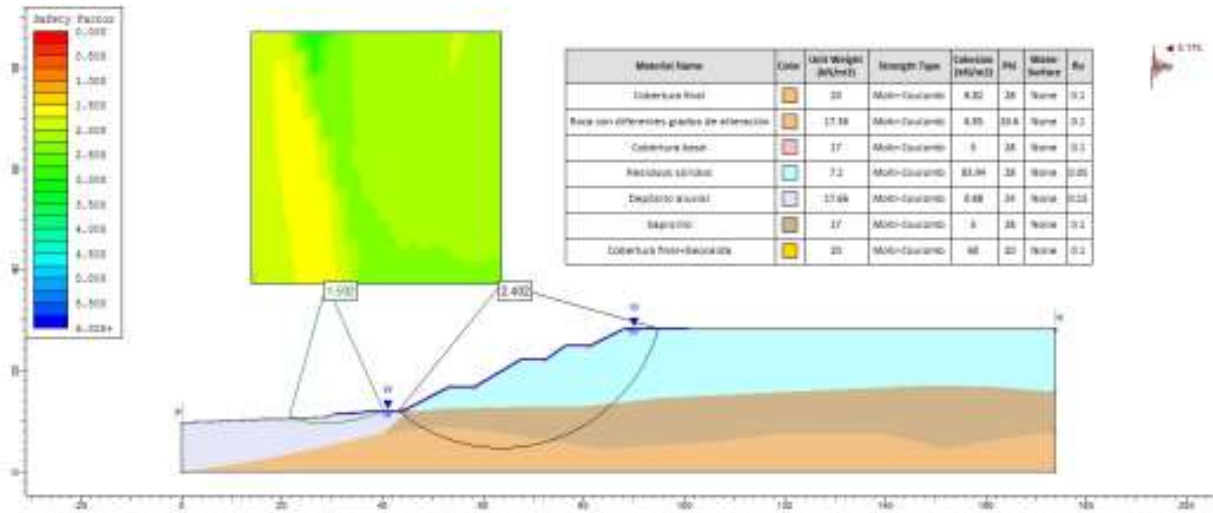
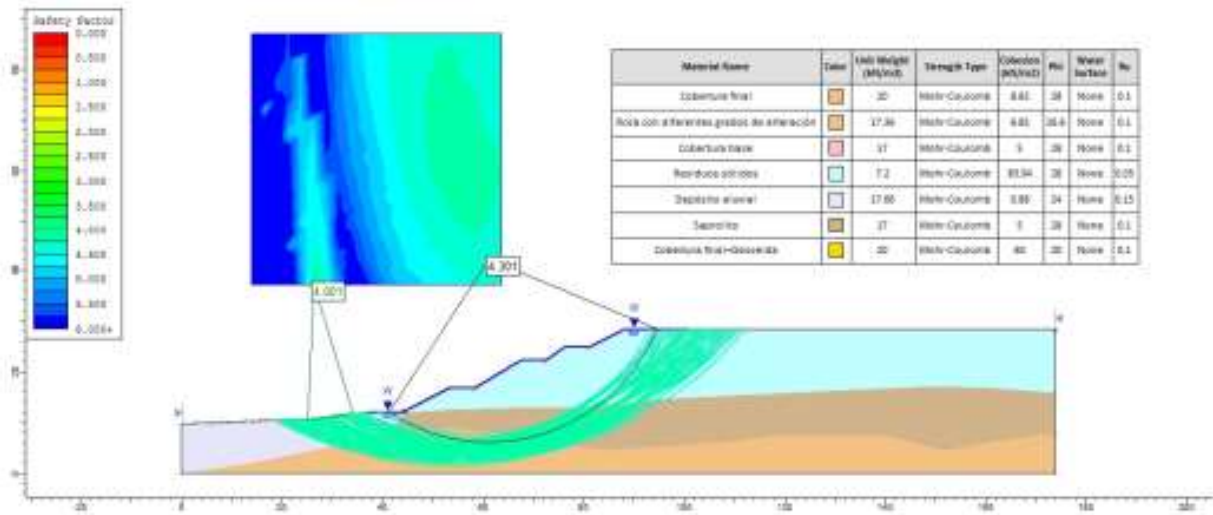
PRECIPITACIÓN

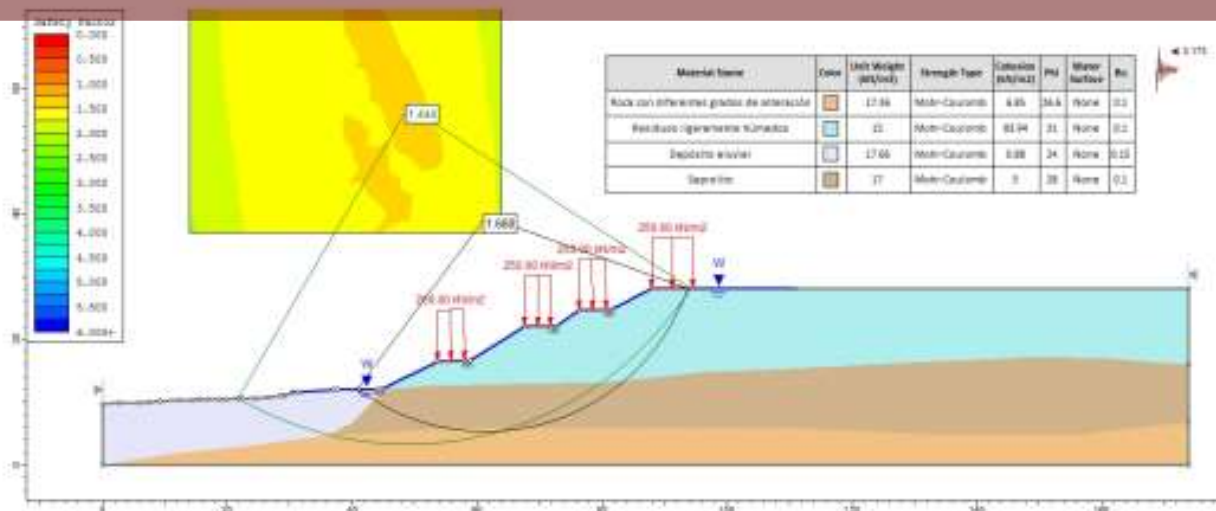


RU



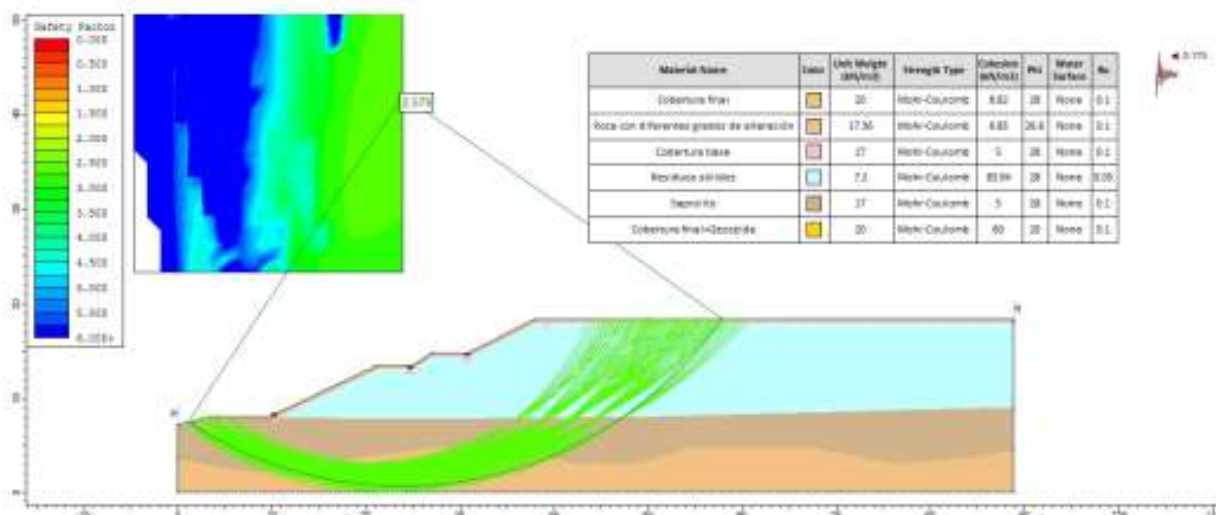
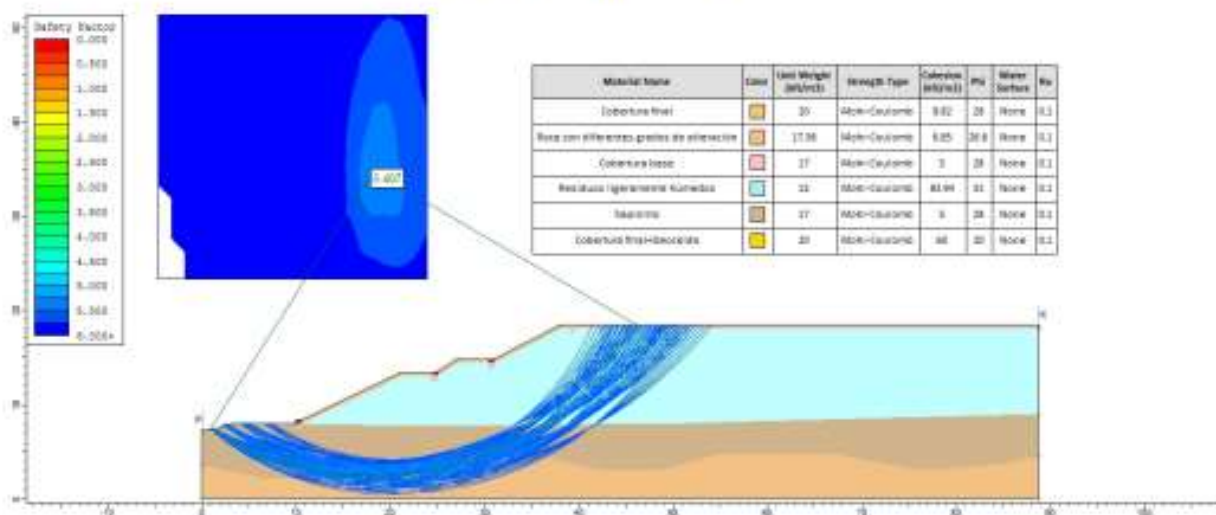
CON CARGAS

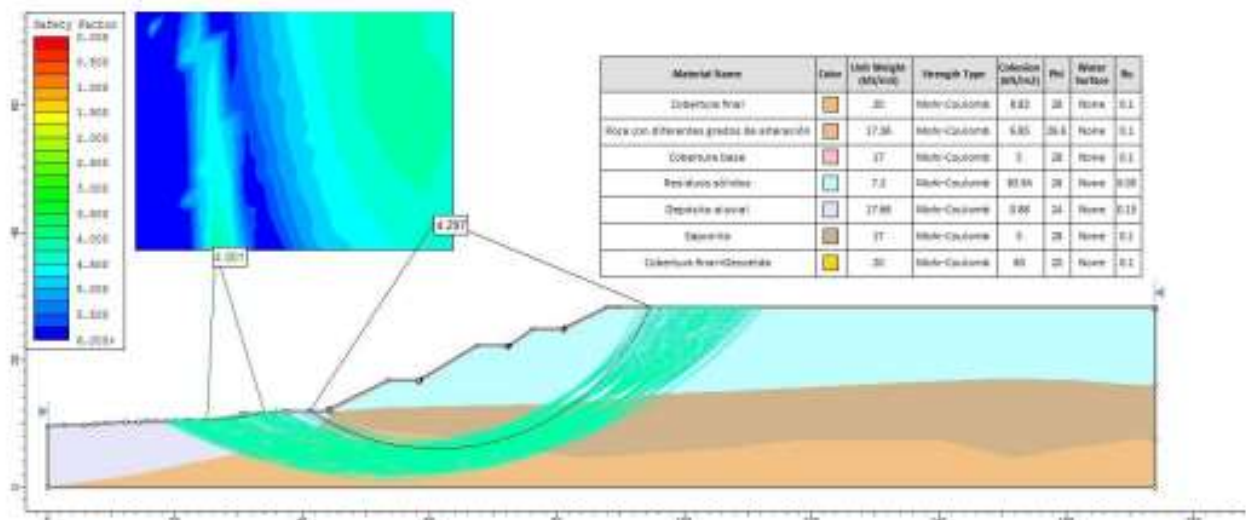
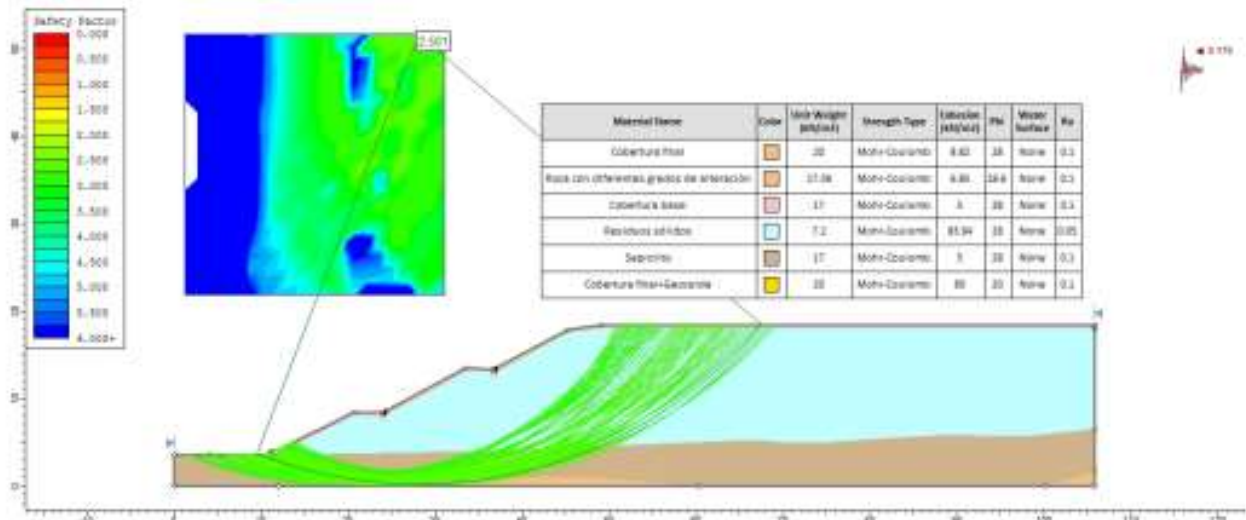
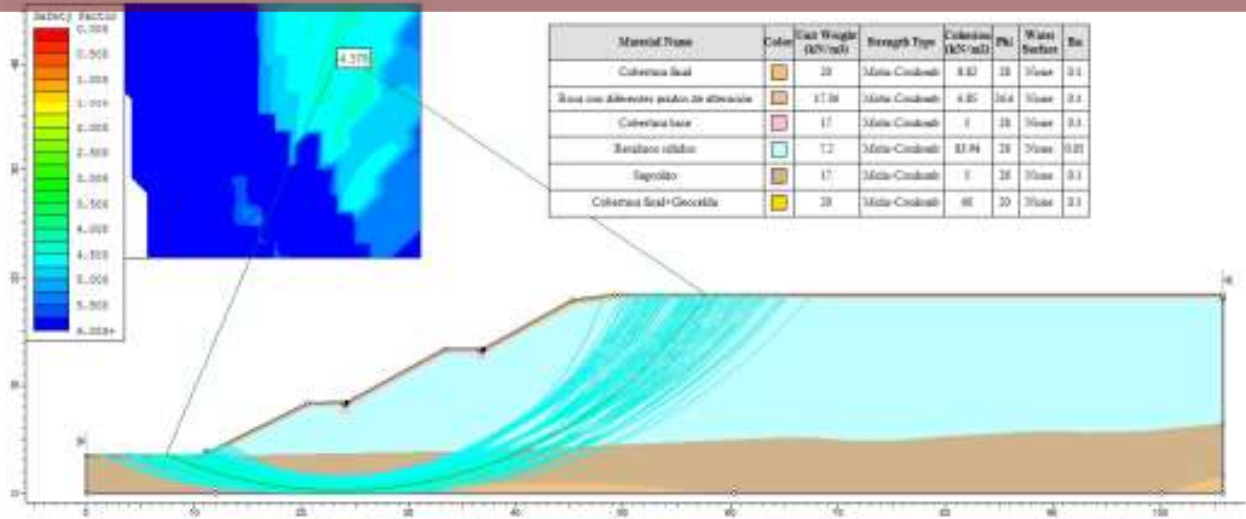


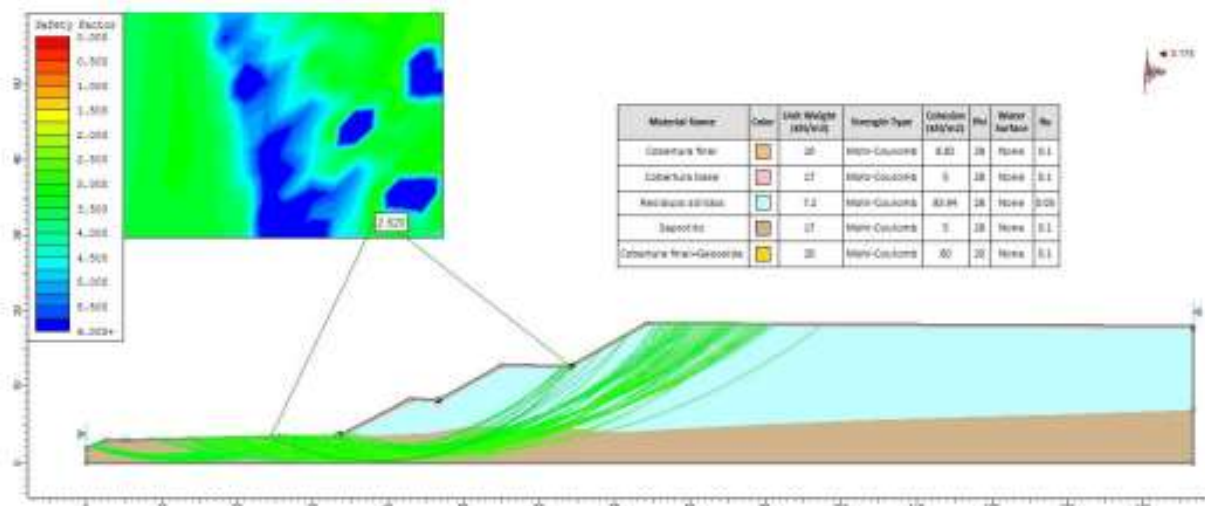
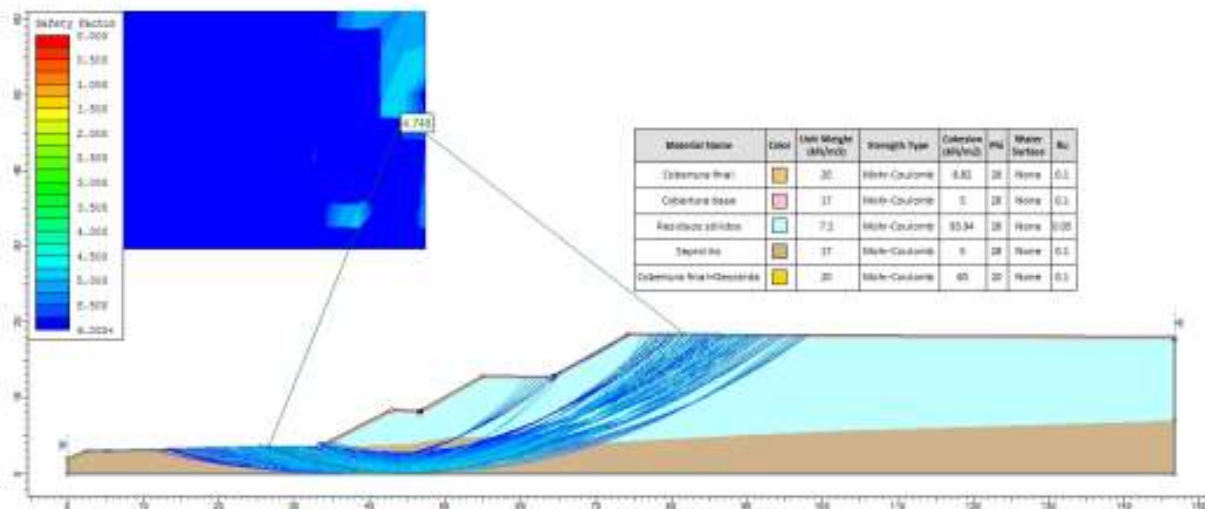
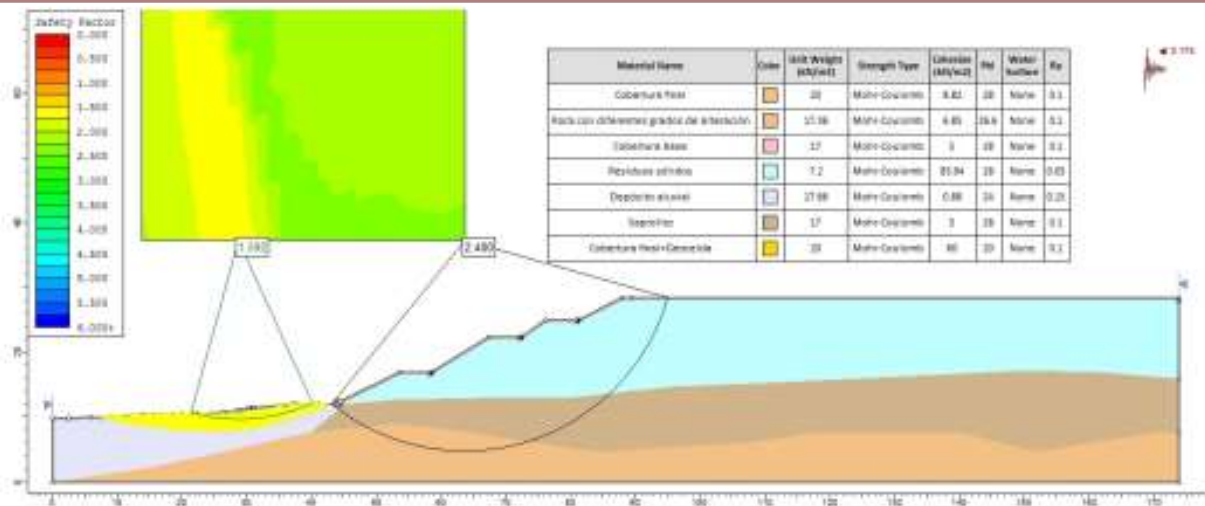


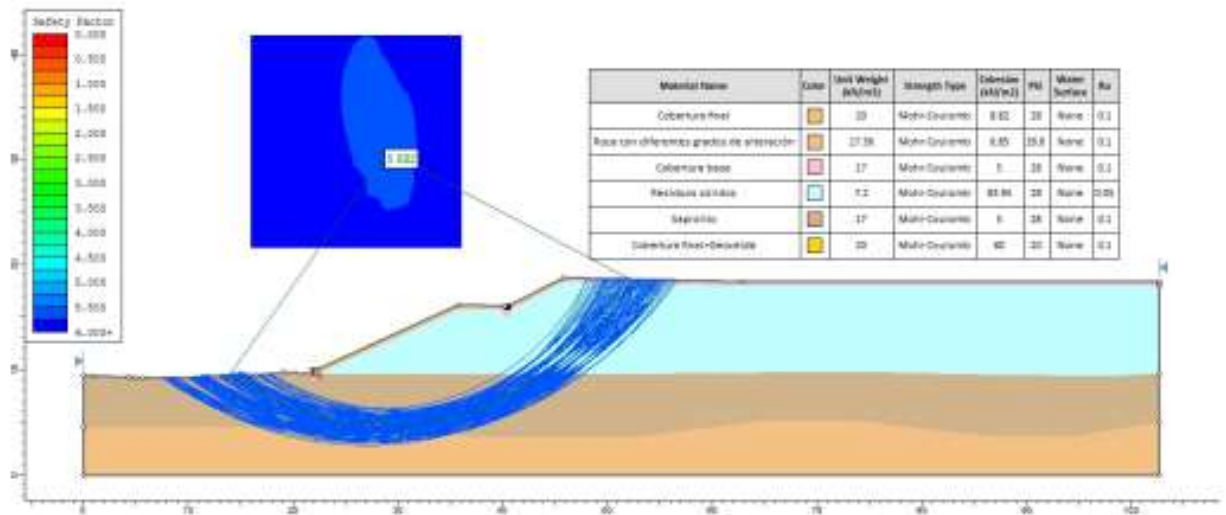
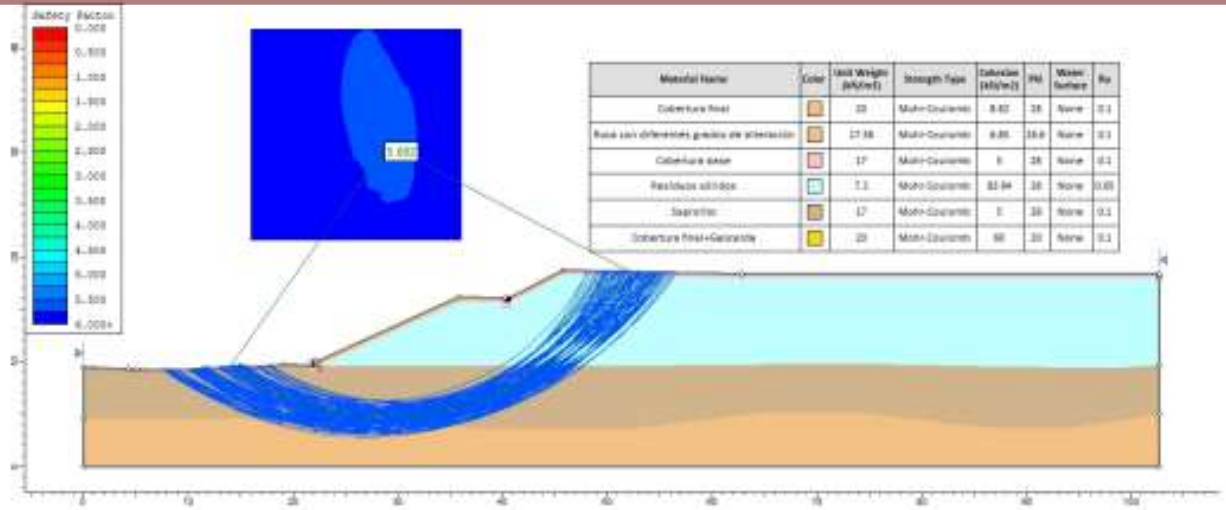
JPG

CON COBERTURA

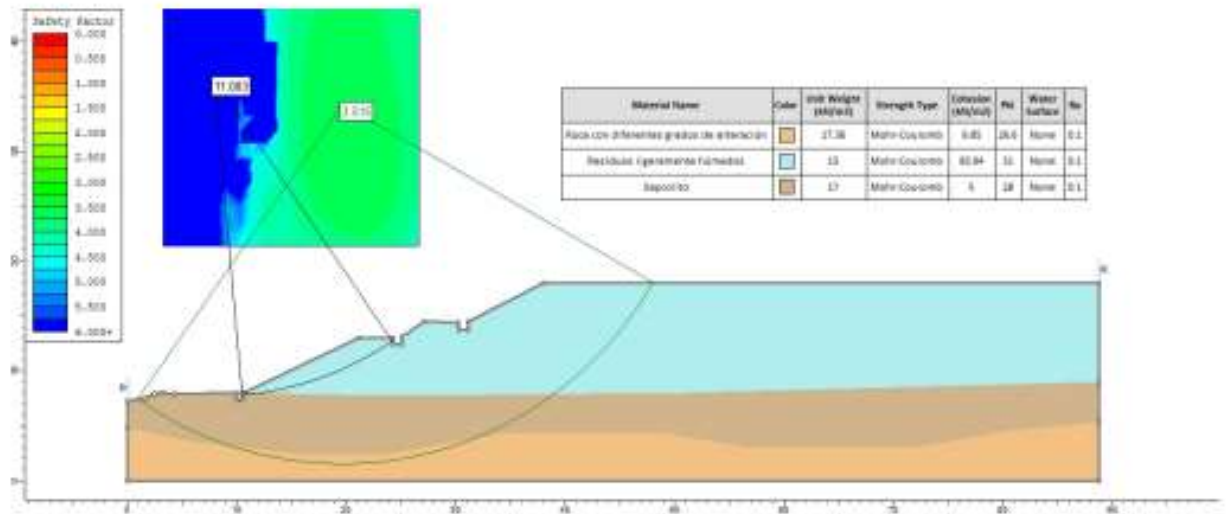


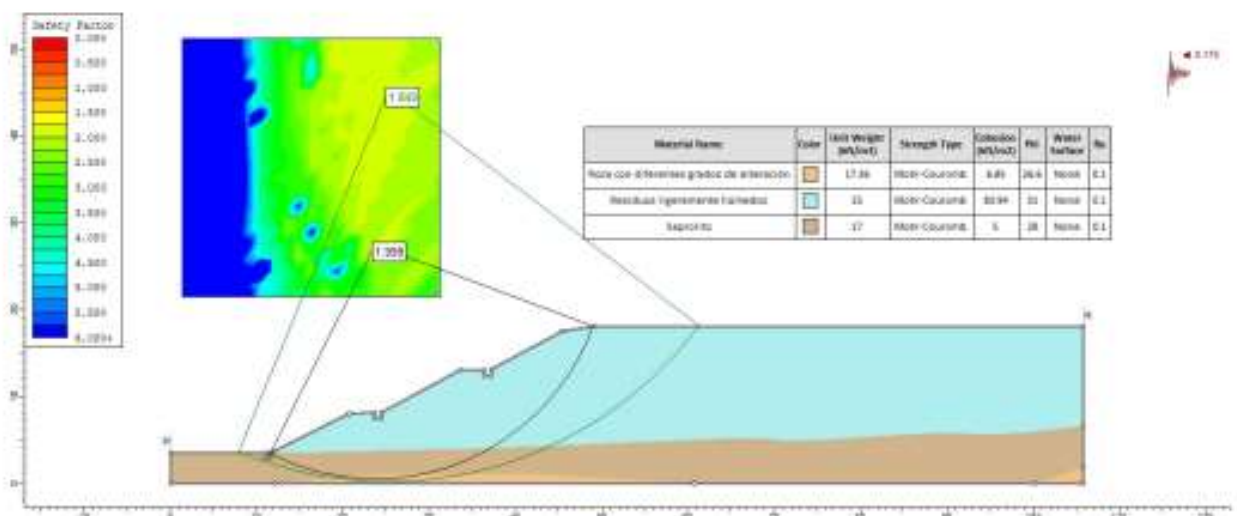
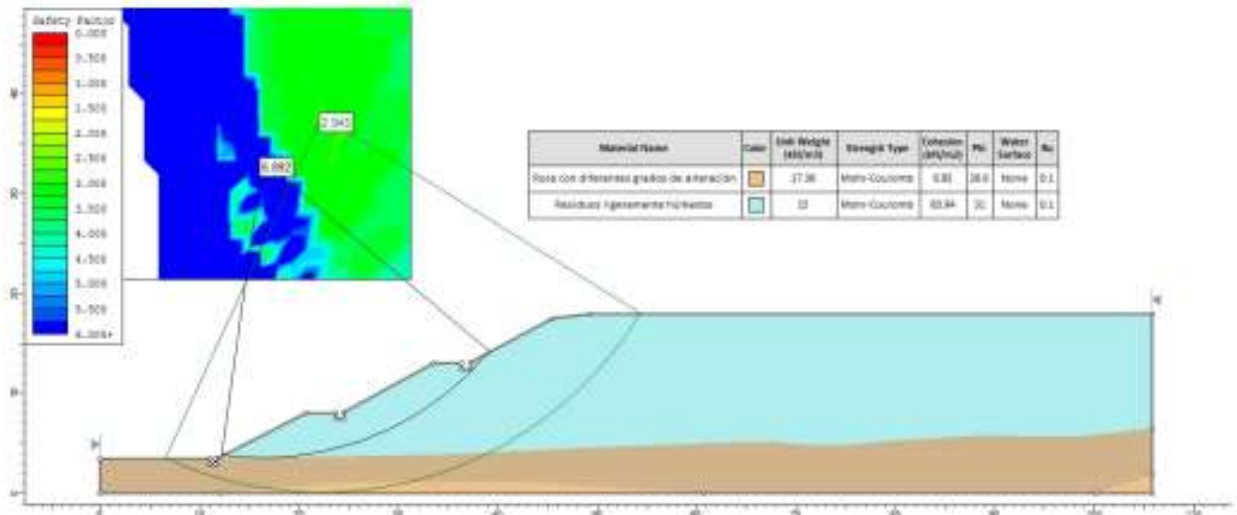
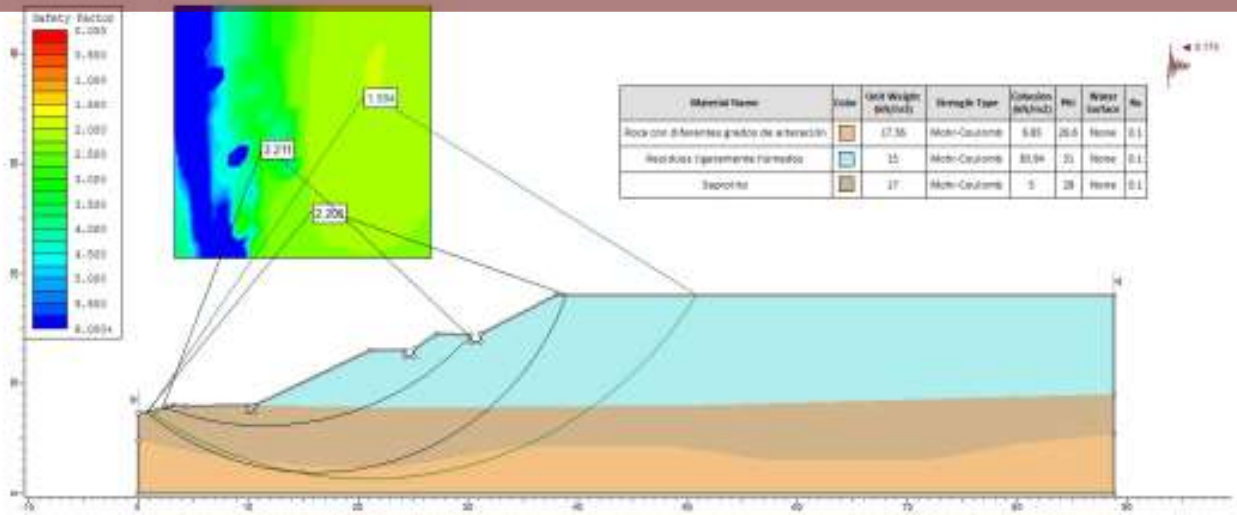


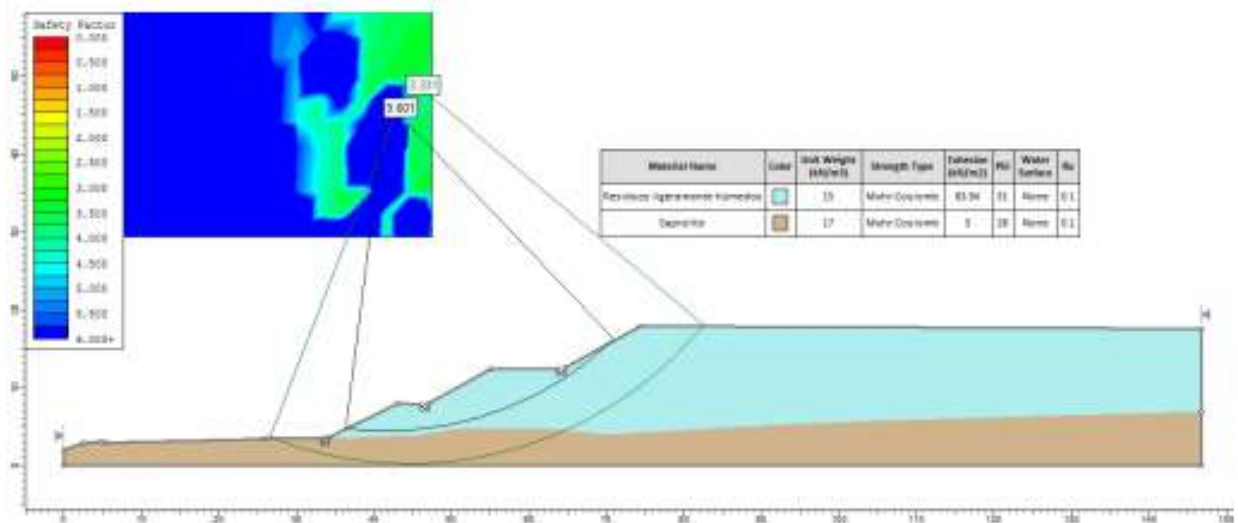
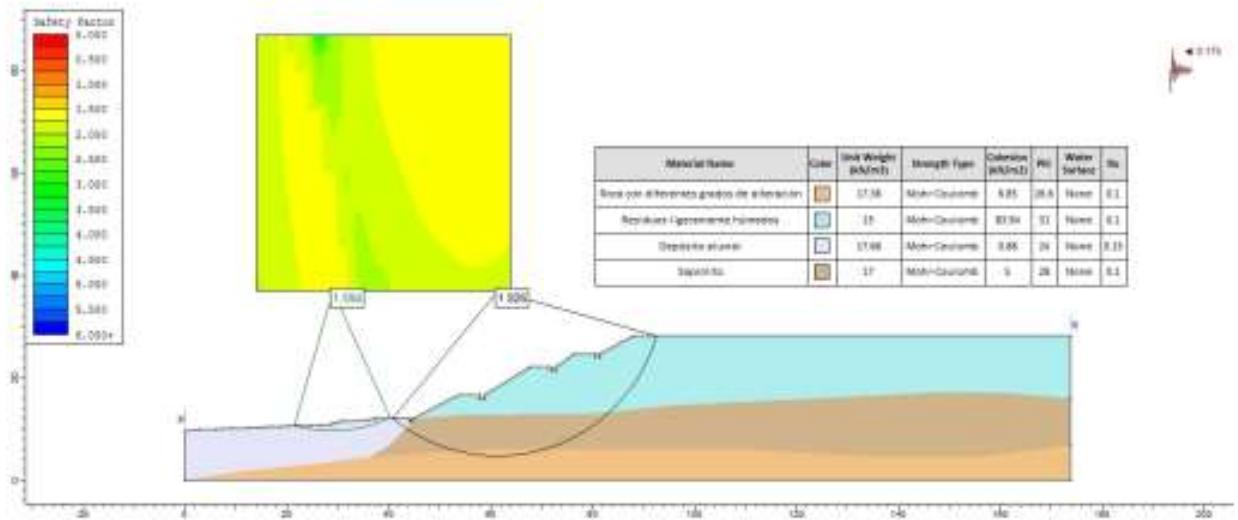
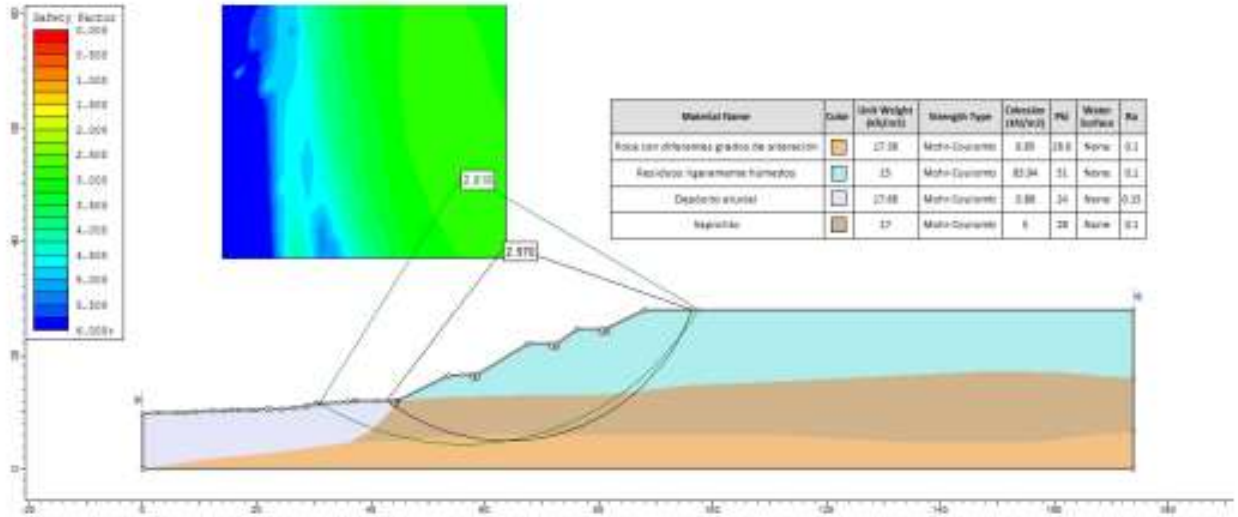


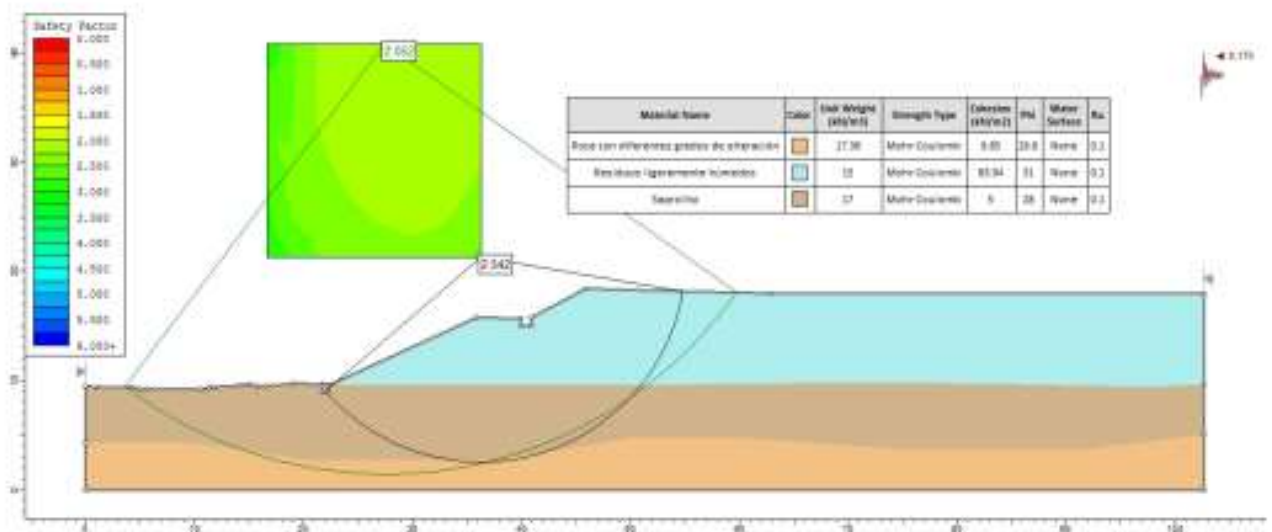
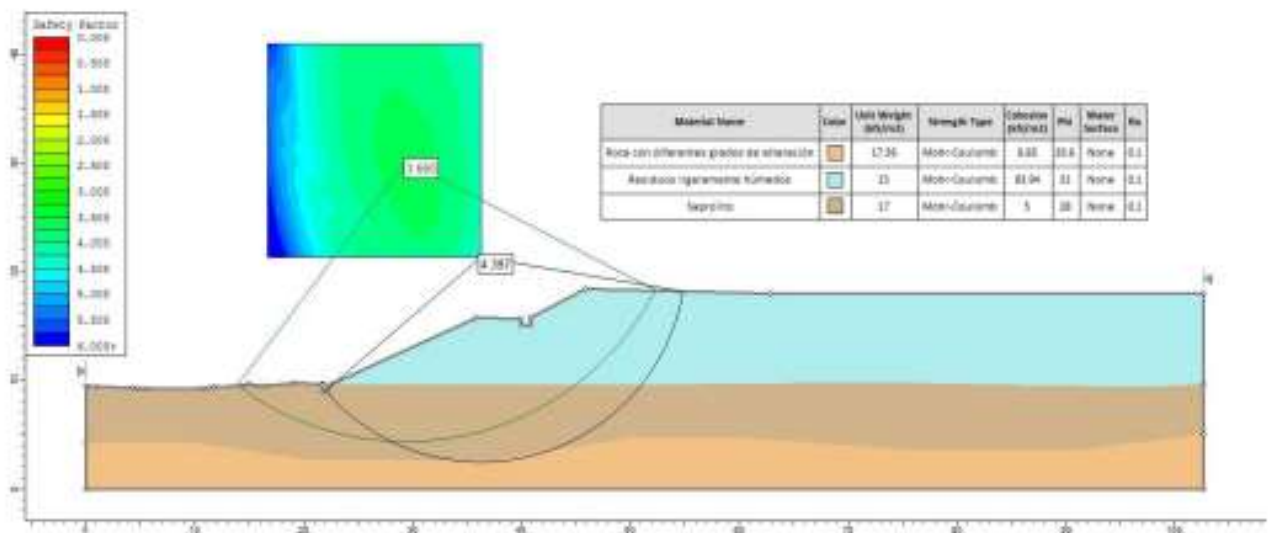
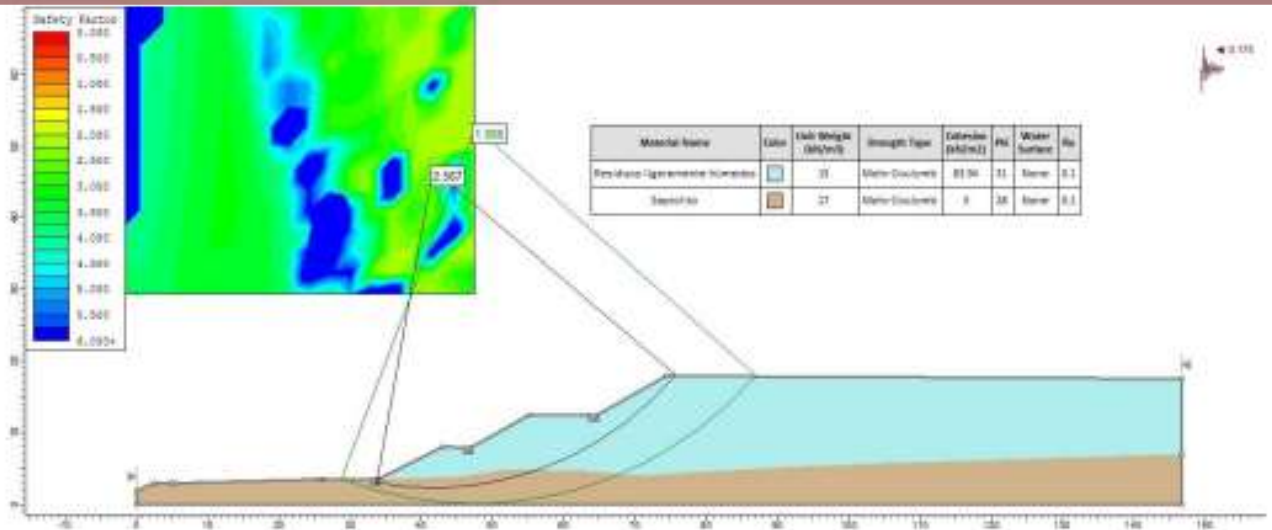


SIN COBERTURA











ANEXO 1
FORMULARIO DE AUTORIZACIÓN

AUTORIZACIÓN PARA LA INCORPORACIÓN DE LOS
TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN
EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL UANCV

Formato digital

Fecha de entrega: 18-12-2024

I. Datos del autor (es):

Nombres y Apellidos: HENRY AMILCAR CUBA ENRIQUEZ

Dirección: Jr. ARICA 148

DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: 47244523

Teléfono: 973 886 993 email: ic.henrycuba@gmail.com

Nombres y Apellidos: _____

Dirección: _____

DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: _____

Teléfono: _____ email: _____

Facultad y/o Escuela de Posgrado: ESCUELA DE POSGRADO

Escuela Profesional o Mención: GEOTECNIA Y TRANSPORTES

Título o Grado Académico a optar: MAESTRO EN INGENIERÍA CIVIL

Asesor: Dr. ARNALDO YANA TORRES

Esta obra se encuentra dentro de las siguientes denominaciones:

Trabajo de Investigación Tesis Trabajo de Suficiencia Profesional Trabajo Académico

Título: EFICACIA DE LA ESTABILIDAD DEL TALUD DE UN RELLENO SANITARIO EN LA CIUDAD DE JULIACA, 2023

Palabras claves, (3 a 5 términos): EFICACIA, ESTABILIDAD DE TALUD, RELLENO SANITARIO.

Esta obra se desarrolló en la UANCV ^{1, 2?}
1

Indicar si su producción intelectual ha empleado recursos tales como, instalaciones, laboratorios, insumos, equipos, bases de datos, asesoría técnica por parte del personal de la UANCV, financiamiento, entré otros relacionados.

Si su producción intelectual se desarrolló en la UANCV totalmente o parcialmente, deberá autorizar el depósito en el Repositorio de manera obligatoria.



2. Referencia de tesis:

Bachiller Titulo 2da Especialidad Maestría Doctorado

3. Licencias:

a) Licencia estándar:

Bajo los siguientes términos, autorizo el depósito de mi tesis en el Repositorio Digital de la UANCV.

Con la autorización de depósito de mi producción intelectual, otorgo a la Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" una licencia no exclusiva para reproducir, distribuir, comunicar al público, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público mi producción intelectual (incluido el resumen), en formato físico o digital, en cualquier medio, conocido o por conocerse, a través de los diversos servicios por la Universidad, creados o por crearse, tales como el Repositorio Digital de tesis UANCV, colección de producción intelectual, entre otros, en el Perú y en el extranjero por el tiempo y veces que considere necesarias, y libres de remuneraciones.

En virtud de dicha licencia, la Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" podrá reproducir mi producción intelectual en cualquier tipo de soporte y en más de un ejemplar, sin modificar su contenido, solo con propósitos de seguridad, respaldo y preservación.

Declaro que la producción intelectual es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, coautoría con titularidad compartida, y me encuentro facultado a conceder la presente licencia y, asimismo, garantizo que dicha producción intelectual no infringe derechos de autor de terceras personas.

La Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" consignará el nombre del y/o los autor(es) de la producción intelectual, y no le hará ninguna modificación más que la permitida en la licencia.

Autorizo su publicación (marque con una X)

- Sí autorizo que se deposite inmediatamente.
- Sí autorizo que se deposite a partir de la fecha (d/m/a): _____
- No autorizo.

b) Licencia CREATIVE COMMONS 4.0 INTERNACIONAL:

Si usted concede una licencia CREATIVE COMMONS sobre su producción intelectual, mantiene la titularidad de los derechos de autor de esta y, a la vez, permite que otras personas puedan reproducirla, comunicarla al público y distribuir ejemplares de esta, bajo las condiciones siguientes:

¿Quiere permitir usos comerciales de su producción intelectual?

Sí: significa que usted permite la reproducción, distribución y comunicación pública de la producción intelectual incluso con fines comerciales.

No: significa que usted permite la reproducción, y comunicación pública de la producción intelectual, pero sin fines comerciales.

- Sí autorizo
- No autorizo



Jurisdicción de su Licencia

Todas las licencias CREATIVE COMMONS son de ámbito mundial, sin embargo, usted puede elegir entre la opción "internacional" o una adaptada a su jurisdicción, como para el caso peruano.

La opción "internacional" emplea el lenguaje y la terminología de los tratados internacionales; en cambio, la adaptada a su jurisdicción, recoge las particularidades de la legislación peruana.

En consecuencia, la opción "internacional" goza de una mayor eficacia a nivel mundial, gracias a que tiene jurisdicción neutral. Mientras que la opción adaptada a la jurisdicción del Perú goza de una mayor eficacia ante los tribunales peruanos.

Internacional

Nacional

Línea de investigación: TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN - P51

[Handwritten signature]

Firma de Autor



huella digital

18 - 12 - 2024

Fecha