



**ANÁLISIS DE LA VIABILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA PARA EL USO DEL
CONCRETO TIPO RCD EN LA CONFORMACIÓN DE ESTRUCTURAS DE
ESTABILIZACIÓN DE TALUDES TIPO GAVIONES**

**ANDRÉS FELIPE MÉNDEZ VARGAS
MANUEL STIWAR SALCEDO YANQUEN**



FUNDACIÓN UNIVERSITARIA JUAN DE CASTELLANOS

FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS BÁSICAS

TUNJA

2024



Fundación Universitaria
Juan D Castellanos
FUNDACIÓN UNIVERSITARIA JUAN DE CASTELLANOS
RES. 1904 del MEN, 5 de Agosto del 2002

**ANÁLISIS DE LA VIABILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA PARA EL USO DEL
CONCRETO TIPO RCD EN LA CONFORMACIÓN DE ESTRUCTURAS DE
ESTABILIZACIÓN DE TALUDES TIPO GAVIONES**

**ANDRÉS FELIPE MÉNDEZ VARGAS
MANUEL STIWAR SALCEDO YANQUEN**

**TRABAJO DE GRADO PRESENTADO PARA OPTAR POR
EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

DIRECTOR

JHONATTAN ANDRES ECHEVERRIA AVELLA

**FUNDACIÓN UNIVERSITARIA JUAN DE CASTELLANOS
FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS BÁSICAS**

TUNJA

2024

"LOS CIENTÍFICOS ESTUDIAN EL MUNDO TAL COMO ES, LOS INGENIEROS
CREAN EL MUNDO QUE NUNCA HA EXISTIDO"

THEODORE VON KÁRMÁN

NOTA DE ACEPTACIÓN

Director de tesis: Ing. Jhonattan Andres Echeverria Avella

Jurado lector: Ing. Fredy Leonardo Camargo Barragan

Jurado ocasional 1: Ing. Jhonatan Alexander Becerra Duitama

Jurado ocasional 2: Ing. Julián Andres Puentes Quintero

Director de Programa: Magister. Astrid Paola Rodríguez

Tunja, 04 de octubre de 2024

DEDICATORIA y AGRADECIMIENTO (Manuel Stiwari Salcedo Yanquen)

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que han hecho posible la realización de esta tesis. En primer lugar, agradezco a los instructores a lo largo de mi etapa lectiva, por su orientación, su apoyo incondicional y su valioso tiempo. Su experticia y compromiso han sido fundamentales para el desarrollo de este trabajo.

A mis compañeros de investigación y amigos de profesión, por su colaboración, las numerosas conversaciones enriquecedoras y su ayuda a lo largo de este proceso. Su compañerismo ha hecho esta experiencia mucho más llevadera y gratificante. A mi familia, especialmente a mis padres, Manuel y Helena, a mis hermanos Paola, Leidy y Yeffer, por su amor y motivación constante. Su fe en mí y sus palabras de aliento siempre me han impulsado a seguir adelante, incluso en los momentos más difíciles.

Quiero dedicar un especial agradecimiento a mi novia, Leidy Martínez, por su amor y apoyo incondicional a lo largo de este viaje. Su paciencia, apoyo y comprensión han sido fundamentales en los momentos más desafiantes de este proceso. Cada palabra de aliento y cada sonrisa me han motivado a seguir adelante, incluso cuando los obstáculos parecían insuperables. Gracias por estar a mi lado, por compartir mis alegrías y por ser mi refugio en los días difíciles. Tu confianza en mí ha sido una fuente constante de inspiración y fuerza.

Asimismo, agradezco a la institución educativa por brindarnos la oportunidad de cursar el programa en un horario flexible y cumplir así los requisitos del programa y las responsabilidades laborales adquiridas, al laboratorio de suelos López Hermanos SAS, en especial a la ingeniera Liliana López, por brindarme los recursos necesarios y un entorno propicio para llevar a cabo mi investigación. Sin su apoyo, este trabajo no habría sido posible. Finalmente, agradezco a todos aquellos que de alguna forma contribuyeron a este proyecto; cada aporte ha sido invaluable.

A todos ustedes, mi más sincero agradecimiento.

DEDICATORIA y AGRADECIMIENTO (Andres Felipe Mendez Vargas)

En primer lugar, quiero expresar, agradecer y dedicar este trabajo de proyecto de grado a Dios ya que siempre tuvo todo bajo en control pese a momentos y situaciones que en su momento daban a ceder ante la adversidad y perder la esperanza, desistir de mis objetivos, pero siempre estuvo ahí conmigo mostrándome las personas correctas.

A mi familia en especial a mi abuelita que siempre estuvo pendiente durante todo el proceso de duración de mi carrera, por su paciencia, carácter y sobre todo por su amor y fe en que si finalizaría con esta larga y dura travesía, a mi hermosa madre que nunca se rindió frente a lo financiero y apoyo emocional, que se esforzó y sacrifico muchas veces tiempo de familia por hacer turnos extras, aunque todo el dinero lo suministraba el icetex, siempre fuimos responsables con no perder la determinación con alguna cuota, acción que seguiremos después de graduación. A mis hermanos que fueron parte de mi motivación para no rendirme y ser ejemplo para ellos, que vieran que si yo puedo ellos también pueden lograrlo y de mejor manera.

Agradezco muy especialmente a la fundación universitaria juan de castellanos por ofrecerme las herramientas apropiadas en mi proceso de aprendizaje. A todos los maestros e ingenieros que dejaron esa semilla e impartieran ese amor, esa pasión por ser un ingeniero civil, ser un buen ingeniero civil.

Con este título, me comprometo a utilizar mis conocimientos y habilidades para contribuir positivamente a la sociedad y honrar a aquellos que me han ayudado a llegar aquí.

TABLA DE CONTENIDO

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	12
1.1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	14
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	15
1.3. HIPÓTESIS DEL PROBLEMA	17
1.4. PREGUNTA DEL PROBLEMA.....	18
1.5. OBJETIVOS	18
1.5.1. OBJETIVO GENERAL	18
1.5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
1.6. JUSTIFICACIÓN	19
1.7. IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN.....	19
1.8. LIMITACIONES Y ALCANCES	20
CAPÍTULO 2. MARCO DE REFERENCIA.....	21
2.1. MARCO DE ANTECEDENTES	21
2.2. MARCO TEÓRICO	23
2.2.1 CONCRETO RECICLADO (RCD)	23
2.2.3. ESTABILIZACIÓN DE TALUDES	24
2.2.4. TALUD	24
2.2.5. DESLIZAMIENTO.....	27
2.2.6. GESTIÓN DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN	30
2.2.7. GAVIONES	32
2.3 MARCO DEMOGRAFICO	38
2.4 MARCO LEGAL E INSTITUCIONAL.....	39
CAPÍTULO 3. MARCO METODOLÓGICO	41
3.1 SELECCIÓN DE MATERIALES	43
3.1 ANÁLISIS EXPERIMENTAL.....	46
3.1.1. ETAPA 1 ANÁLISIS Y CARACTERIZACIÓN DE MUESTRAS	46
CAPÍTULO 4. ANÁLISIS DE RESULTADOS	59
4.1. Granulometría (INV_E_219-13).....	61
4.2. Informe de Ensayo Absorción (INV_E_223-13).....	61

4.3. Resultados De La Resistencia Da La Degradación De Los Agregados Tamaños Mayores De 19 Mm (3/4") Por Medio De La Máquina De Los Ángeles. (INV E 219 – 13)	63
4.4. Resultados De Ensayo Solidez De Los Agregados Frente a La Acción De Sulfato De Sodio O De Magnesio. (INV E 220-13)	65
4.5. Método de prueba estándar para Resistencia a la compresión y módulos de elasticidad de avería de muestras de roca de núcleo bajo diferentes estados de estrés y temperaturas. ASTM-D-7012.	67
4.6. Análisis Económico	72
5. CONCLUSIONES	76
5.1. RECOMENDACIONES	78
5.2. BIBLIOGRAFÍA	80
CAPÍTULO 6. ANEXOS	82
6.1. Anexo 1: informe de De Resultados De Ensayo Absorción	83
6.2. Anexo 2: Informe De Resultados De La Resistencia De La Degradación De Los Agregados Tamaños Mayores De 19 Mm (3/4") Por Medio De La Máquina De Los Ángeles.	84
6.3. Anexo 3: Informe De Resultados De Ensayo Solidez De Los Agregados Frente A La Acción De Sulfato De Sodio O De Magnesio.	85
6.4. Anexo 4: Informe De Resultados De Ensayo Resistencia A La Compresion De Cilindros De Concreto.	86
6.5. Anexo 5 : Informe De Resultado De Ensayo Determinación De La Resistencia A La Compresión Simple En Roca. (ASTM-D 7012-10 Método C).....	87
6.6. Anexo 6: Informe simulación para el análisis teórico de un gavión con RCD (Geo5).	88

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de los Residuos de Construcción y demolición RCD.....	31
Tabla 2. Características del material granular para llenado de gaviones (Roca).....	34
Tabla 3. Carga Maquina de los ángeles	48
Tabla 4. Tamices requeridos para el ensayo	52
Tabla 5. Compilado Ítems de caracterización.....	58
Tabla 6. Compilado Ensayos de laboratorios	60
Tabla 7. Ensayo Absorción.....	61
Tabla 8. Datos de la Balanza	62
Tabla 9. Resultados LAB Desgaste	63
Tabla 10. Gradación, Carga Abrasiva Y Revoluciones.....	64
Tabla 11. Examen cuantitativo- Agregado grueso y fino	65
Tabla 12. Examen Cualitativo	66
Tabla 13. Resultado de ensayo de compresión simple	67
Tabla 14. clasificación de la roca según ASTM D 7012-C	69
Tabla 15. Resultados de carga máxima	70
Tabla 16. promedio de datos obtenidos en el ensayo de resistencia a la compresión	71
Tabla 17. Cotización por metro lineal de estructura tipo gavión con caliza.	72
Tabla 18. Cotización por metro lineal de estructura tipo gavión con RCD.....	73

TABLA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Elementos que componen los gaviones tipo caja. Fuente: MACCAFERRI, 2017	36
Ilustración 2.Elementos que componen los gaviones tipo saco. Fuente: MACCAFERRI, 2017	37
Ilustración 3. Elementos que componen los gaviones tipo colchones Reno. Fuente: MACCAFERRI, 2017	37
Ilustración 4.Clasificación de residuos (RCD de estudio).....	41
Ilustración 5.acopio de material escombros, Fuente: laboratorio de suelos López Hermanos SAS Tunja-Boyacá	43
Ilustración 6. Esquemas de patrones típicos de falla	56
Ilustración 7. Fotografías de patrones típicos de falla	57
Ilustración 8. espécimen de falla tipo 5, Elaboración propia.....	57
Ilustración 9.Núcleo de concreto, Elaboración propia	67
Ilustración 10. módulo elástico esfuerzo vs. Deformación, Elaboración propia	68
Ilustración 11. Espécimen seleccionado/resultado obtenido	71

RESUMEN

Esta investigación evalúa la viabilidad técnica y económica del uso de residuos de construcción y demolición (RCD) en la construcción de gaviones para estabilización de taludes en la región de Boyacá, Colombia. A través de una revisión bibliográfica y ensayos experimentales, se analiza el potencial del concreto reciclado para reducir residuos y promover la sostenibilidad en la construcción. Los resultados de este estudio contribuirán a la gestión sostenible de residuos en la construcción, ofreciendo recomendaciones para la implementación de materiales reciclados en la región y mitigando el impacto ambiental asociado a la disposición inadecuada de RCD. Además, se identificarán oportunidades para mejorar la eficiencia y reducir costos en la construcción de infraestructuras.

Palabras claves: Residuos de construcción, Demolición, Concreto reciclado, Estructuras de estabilización, Gaviones, Viabilidad técnica, Sostenibilidad, Propiedades mecánicas, Gestión de residuos

ABSTRACT

This research evaluates the technical and economic feasibility of using construction and demolition waste (CDW) in the construction of gabions for slope stabilization in the region of Boyacá, Colombia. Through a literature review and experimental trials, the potential of recycled concrete to reduce waste and promote sustainability in construction is analyzed. The results of this study will contribute to sustainable waste management in construction, offering recommendations for the implementation of recycled materials in the region and mitigating the environmental impact associated with the improper disposal of CDW. In addition, opportunities will be identified to improve efficiency and reduce costs in infrastructure construction.

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

La estabilización de taludes representa un desafío crítico en la ingeniería civil, especialmente en áreas propensas a deslizamientos, erosión y colapsos. La construcción de estructuras de contención, como los gaviones, es una solución común para mitigar estos riesgos. Sin embargo, la selección del material adecuado es fundamental para garantizar la eficacia y durabilidad de estas estructuras.

El sector de la construcción genera grandes cantidades de residuos, muchos de los cuales no son reciclables; en varios países se han implementado tecnologías para hacer estos residuos más sostenibles, lo que también puede reducir costos. En Colombia, la inadecuada gestión de los residuos de construcción y demolición (RCD) ha provocado problemas ambientales significativos, como la pérdida de biodiversidad y la contaminación del aire y el agua. A nivel internacional, países como Dinamarca y Alemania han adoptado legislaciones estrictas y tecnologías avanzadas para el reciclaje de RCD, mientras que en Colombia predominan métodos tecnológicos artesanales en la implementación de RCD triturado para la elaboración de adoquines y bloques para el ámbito de la construcción y el embellecimiento urbanístico, el mejoramiento de suelos mediante la combinación de agregado granular y material de RCD compactado, entre otras. Por otra parte, las medidas judiciales contra la mala disposición de estos residuos en el país no son muy rigurosas y, por tanto, se evidencia la contaminación ambiental producto de la mala disposición de dicho material. En Tunja, la mala gestión de residuos ha reducido la vida útil del relleno sanitario, evidenciando la necesidad de mejorar las tecnologías de disposición y aprovechamiento de residuos en la región.

El concreto tipo RCD ha ganado atención en la industria de la construcción debido a sus propiedades mejoradas, como mayor resistencia, durabilidad y reducción de costos. Sin embargo, su aplicación en la construcción de gaviones para la estabilización de taludes aún no ha sido exhaustivamente evaluada. Esta investigación se centra en analizar la viabilidad técnica y económica del uso del concreto RCD en la construcción de gaviones. A través de un estudio exhaustivo, se evaluaron las propiedades mecánicas, durabilidad y costos asociados con esta aplicación. Los resultados demuestran que el concreto RCD ofrece propiedades mecánicas similares e incluso superiores en términos de resistencia, durabilidad y reducción de costos en comparación con materiales tradicionales.

Estos hallazgos tienen implicaciones importantes para la práctica ingenieril y la toma de decisiones en proyectos de estabilización de taludes. En este documento se presentan los resultados y conclusiones de la investigación, que contribuyen al avance del conocimiento en la ingeniería de estabilización de taludes y ofrecen una guía valiosa para la selección de materiales en proyectos futuros.

En el área de gestión de calidad de concretos, se desarrollan diversas actividades de control que generan residuos provenientes del muestreo de materiales constructivos, como cilindros y vigas de concreto; estos residuos, generados tras ensayos de compresión o módulos de rotura, se convierten en RCD. En los laboratorios de ensayo de concreto, se acumula una gran cantidad de escombros de cilindros ensayados y no ensayados, que a menudo no se disponen adecuadamente, un claro ejemplo de esta mala disposición se observa en los acopios en las instalaciones del campus universitario, así como en escombreras municipales y rellenos sanitarios.

En la Fundación Universitaria Juan De Castellanos, se pueden observar residuos de concreto acumulados en las zonas verdes detrás del laboratorio, lo que genera problemas como contaminación, degradación del paisaje, daño a los drenajes naturales, deterioro de la vegetación y afectaciones a la salud humana, además de inseguridad para estudiantes y habitantes. Esto produce un daño ambiental significativo si no se les da un uso adecuado a esos residuos.

Fomentar el reciclaje del concreto tipo RCD es complejo, ya que muchas personas desechan escombros en lugares inapropiados, contaminando ríos y obstruyendo drenajes, lo que provoca inundaciones. Reciclar concreto tiene dos beneficios principales: reduce la necesidad de nuevos materiales y disminuye el desperdicio de recursos valiosos. Por otra parte, la falta de aprovechamiento de residuos en el laboratorio de la Fundación Universitaria Juan de Castellanos contribuye a la contaminación y genera focos de enfermedades, además de la contaminación visual, dado que el concreto es el segundo material más consumido después del acero y puede durar cientos de años, implementar un sistema de clasificación y reciclaje en el laboratorio permitiría reutilizar estos residuos como materia prima para nuevos materiales de construcción.

1.1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

¿La viabilidad económica de la implementación de material RCD en estructuras de contención por gravedad justifica el reemplazo del material granular normalmente implementado cumpliendo propiedades mecánicas normativas?

¿La implementación del concreto tipo RCD en estructuras de contención tipo gaviones representa una solución óptima en el ámbito de la ingeniería brindando los Factores de Seguridad requeridos por la NSR 10?

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Numerosas obras de ingeniería civil requieren la estabilización de pendientes de terreno, tanto temporales como permanentes. Esto es especialmente relevante en excavaciones para edificios, cortes y excavaciones para carreteras, reservorios de suelo, terraplenes, puentes, entre otros. Por lo tanto, es fundamental evaluar la estabilidad del talud para identificar posibles fallas por deslizamiento.

El método de diseño adecuado para cada situación se determina comúnmente a través del estudio físico de las propiedades mecánicas del suelo que aporten datos significativos necesarios para desarrollar el método de intervención. Sin embargo, es importante tener en cuenta que la geotecnia es una ciencia que se caracteriza por una alta incertidumbre en las variables, ya que las propiedades del suelo pueden variar significativamente de un lugar a otro y también pueden verse afectadas por factores como el tiempo y fenómenos naturales, como la lluvia. Esta variabilidad puede llevar a la inestabilidad de los taludes, generando un riesgo latente tanto para la infraestructura circundante como para la integridad física de las personas.

Por esta razón, en el diseño de estructuras de contención, la normativa nacional permite incrementar las cargas y modelar los escenarios más críticos. Esto nos permite obtener

factores de seguridad que se aproximen a los ideales, garantizando un comportamiento mecánico óptimo para cada caso de contención.

Una de las soluciones más comunes para la estabilización de taludes son las estructuras de tipo gavión. Estas consisten en canastas fabricadas con malla de acero, rellenas de material rocoso que cumple con especificaciones técnicas específicas. Su función principal es proporcionar carga por gravedad, evitando así el desplazamiento del terreno a contener. En la región, se utiliza principalmente roca caliza proveniente del centro del departamento, que es la principal fuente de explotación minera de este mineral. En cuanto a los requisitos normativos para los materiales granulares necesarios en estos sistemas de contención por gravedad, la roca caliza cumple satisfactoriamente con las condiciones de resistencia requeridas para satisfacer las necesidades ingenieriles.

Sin embargo, el uso de estos materiales presenta un desafío significativo: la explotación minera a cielo abierto necesaria para obtener el material de relleno. Este proceso conlleva contaminación sonora debido al uso de explosivos y maquinaria pesada, así como deforestación y desplazamiento de la fauna silvestre local. Además, el impacto económico en el presupuesto del proyecto puede variar considerablemente según la ubicación, considerando el costo de transporte del material hasta el frente de trabajo.

Por lo tanto, la gestión adecuada de los Residuos de Construcción y Demolición (RCD) es crucial por varias razones. Lo más importante, el impacto ambiental que se puede generar si no se manejan correctamente. La acumulación descontrolada de RCD puede provocar contaminación del suelo y del agua, así como daños a la biodiversidad y a los ecosistemas locales. Además, una gestión eficiente de los RCD puede generar importantes beneficios

económicos al facilitar la reutilización y el reciclaje de materiales, reduciendo así los costos de disposición y promoviendo la economía circular.

Este estudio establece la viabilidad de reemplazar la roca caliza en las estructuras de tipo gavión con material de RCD, específicamente para nuestro estudio, los residuos cilíndricos y vigas de concreto propios de la actividad ingenieril de la construcción para el control de calidad de las estructuras de concreto, con el objetivo de minimizar los costos de operación y proporcionar un destino final adecuado para los residuos generados en el sector de la construcción.

1.3. HIPÓTESIS DEL PROBLEMA

La utilización de concreto reciclado (RCD) en la construcción de gaviones se presenta como una solución técnica y económicamente viable, destacando por su notable resistencia y durabilidad. Esta alternativa se posiciona como una opción prometedora para fomentar la sostenibilidad en proyectos de estabilización de taludes, así mismo, el diseño de un muro de gaviones que incorpore principios de ingeniería sostenible y haga uso de RCD permitirá desarrollar una estructura que garantice no solo la estabilidad de los taludes, sino que también se integre armónicamente con el entorno natural. Este enfoque promueve la sostenibilidad ambiental al equilibrar el desarrollo económico y social, al tiempo que cuida y protege la naturaleza y la fauna presente en la zona de implementación de la estructura de contención.

1.4. PREGUNTA DEL PROBLEMA

¿Puede ser viable técnica y económicamente la implementación de materiales tipo RDC en la construcción de gaviones para estabilización de taludes, en comparación con materiales tradicionales?

1.5. OBJETIVOS

1.5.1. OBJETIVO GENERAL

Establecer la viabilidad de la implementación de residuos de concreto tipo RCD en la construcción de gaviones para la estabilidad de taludes.

1.5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar una recopilación y análisis exhaustivo de la literatura existente sobre el uso de residuos de concreto tipo RDC en la estabilización de taludes, incluyendo estudios internacionales, nacionales y regionales, para identificar tendencias, avances y desafíos en la materia.
- Diseñar y ejecutar ensayos de laboratorio para determinar las propiedades físicas y mecánicas del concreto tipo RDC, incluyendo especificaciones y caracterizaciones técnicas, con el fin de evaluar su idoneidad para la construcción de gaviones.
- Evaluar la viabilidad técnica y económica del uso del concreto tipo RDC en la estabilización de taludes tipo gaviones, considerando factores como costos, beneficios, impacto ambiental y normativas, para determinar su potencial aplicación en proyectos de infraestructura.

1.6. JUSTIFICACIÓN

La estabilización de taludes es un aspecto crítico en la construcción de infraestructuras, ya que garantiza la seguridad y durabilidad de las obras. Sin embargo, los métodos tradicionales de estabilización suelen ser costosos y generan un impacto ambiental significativo. En este contexto, la implementación de concreto tipo RDC en gaviones surge como una alternativa prometedora, ya que ofrece una solución técnica y económicamente viable, con beneficios adicionales en términos de sostenibilidad. La investigación propuesta busca evaluar la viabilidad de esta alternativa, con el fin de contribuir al desarrollo de soluciones más eficientes y respetuosas con el medio ambiente en la construcción de infraestructuras.

1.7. IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación sobre la viabilidad técnica y económica del uso de concreto tipo RDC en la construcción de gaviones para estabilización de taludes reviste una importancia significativa en el contexto actual, caracterizado por la creciente demanda de soluciones sostenibles y eficientes en la construcción de infraestructuras. En este sentido, la investigación contribuye a abordar la necesidad de reducir el impacto ambiental negativo asociado a los métodos tradicionales de estabilización, que no solo afectan la calidad del medio ambiente, sino que también comprometen la seguridad y durabilidad de las obras de infraestructura. Al evaluar la viabilidad del concreto tipo RDC en gaviones, Esta investigación ofrece la oportunidad de identificar áreas de mejora en la eficiencia y en la reducción de costos en la construcción de infraestructuras.

Además, los resultados de esta investigación pueden contribuir a orientar la creación de políticas y normativas relacionadas con la construcción sostenible y la gestión de residuos,

promoviendo un enfoque más integral y respetuoso con el medio ambiente. Esto, a su vez, puede contribuir al desarrollo de soluciones innovadoras y sostenibles en la construcción de infraestructuras, que satisfagan las necesidades actuales sin comprometer la calidad de vida de las generaciones futuras. La investigación también puede tener un impacto positivo en la industria de la construcción, al proporcionar información valiosa para la toma de decisiones informadas y la mejora continua de los procesos constructivos. Al mismo tiempo, puede contribuir a la generación de conocimiento y capacidad técnica en el sector, lo que puede beneficiar a la sociedad en general.

1.8. LIMITACIONES Y ALCANCES

Teniendo en cuenta lo propuesto, el desarrollo del proyecto está pensado para la región de Boyacá y principalmente para la ciudad de Tunja, sin embargo, se puede pensar a futuro en su implementación para los demás departamentos del país que cuenten con la misma problemática y requieran implementar la solución que planteamos en esta investigación para cada caso. Los estudios de caso usados para desarrollar la investigación fueron realizados con RCD provenientes del laboratorio de concretos y materiales de la Fundación Universitaria Juan de Castellanos y los residuos del laboratorio de suelos “López Hermanos SAS”.

CAPÍTULO 2. MARCO DE REFERENCIA

2.1. MARCO DE ANTECEDENTES

De acuerdo a la trazabilidad encontrada respecto a la implementación de los residuos tipo RDC en estructuras de contención como reemplazo de los materiales granulares propios de dichas estructuras, se encontraron muy pocos estudios referentes a estas prácticas por lo cual no se tienen datos concretos de la efectividad de dicha implementación de RCD en Gaviones, sin embargo, Andres Martello en su trabajo de grado titulado *“Determinación de la viabilidad técnica y económica para el uso del concreto tipo rcd en la conformación de estructuras de estabilización de taludes (gaviones)”* llevado a cabo en Cartagena de Indias - Colombia en 2020, su material de estudio eran los RCD constituidos por canto rodado o agregado obtenido de cantera, los cuales deben considerarse de tal manera que puedan soportar la exposición al agua o a la intemperie sin deteriorarse, evitando materiales que contengan óxido de hierro con excesiva alcalinidad, con compuestos salinos, cuya composición pueda atacar el alambre de la canasta, según lo definido por la normativa del INVIAS.

En el artículo liderado por Guerra E.; Ñacata P.; Muñoz F. llamado *“Aprovechamiento de los residuos provenientes de cilindros y vigas de hormigón utilizados en el laboratorio de Ensayo de Materiales de la Facultad de Ingeniería, Ciencias Físicas y Matemática de la Universidad Central del Ecuador para la fabricación de bloques huecos de hormigón con limadura de acero”* y publicado en Ecuador en 2018, disponen del RDC para la fabricación de bloques huecos con hormigón reciclado y limadura de acero que ofrezca resistencias superiores a las establecidas en la norma vigente. Para ello el agregado se obtiene mediante

un proceso de trituración de los cilindros, pasando por un proceso de tamizaje y su tamaño nominal del mismo fue todo aquel que pasó por el tamiz número # 4 y mediante el aprovechamiento de los cilindros y vigas de hormigón ensayados, los cuales son generados en laboratorios de ensayo de materiales, y por medio del proceso del reciclaje, fabricar bloques huecos de hormigón con limadura de acero, dando como resultado un producto de alta resistencia.

En su trabajo de especialización Guacaneme Lizarazo, F. A. (2015). *Ventajas y usos del concreto reciclado*. Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, Colombia. Explora las ventajas y aplicaciones de los Residuos de Construcción y Demolición (RCD) en la industria de la construcción colombiana, El estudio analiza la creciente producción de concreto en Colombia y su impacto en la generación de RCD, comparando la gestión y regulación de estos residuos a nivel nacional e internacional. Entre los usos innovadores identificados se encuentran la aplicación en subbases y bases de pavimentos, reconformación morfológica de terrenos mineros, concreto estructural y pavimentos rígidos. Además, Guacaneme Lizarazo destaca las ventajas ambientales y económicas del uso de RCD, como la minimización de residuos, beneficios económicos y reducción de impactos paisajísticos. Finalmente, el trabajo presenta una clasificación detallada de los RCD según su potencial de aprovechamiento y concluye con recomendaciones para implementar lineamientos más estrictos y fomentar la investigación sobre el uso de RCD en Colombia, resaltando su potencial como solución sostenible en la construcción.

2.2. MARCO TEÓRICO

2.2.1 CONCRETO RECICLADO (RCD)

El Concreto Reciclado (RCD) es un material producido a partir de la transformación de residuos de construcción y demolición, principalmente hormigón, que ha sido sometido a un proceso de reciclaje y tratamiento. Este material se caracteriza por contener agregados de concreto reciclado, los cuales se mezclan con cemento, agregados naturales (grava y arena), agua y aditivos, con el objetivo de obtener un producto que presenta características físicas y mecánicas similares a las del hormigón tradicional. Así, el RCD se presenta como una alternativa sostenible y eficiente para la construcción.

2.2.1.1 Características del concreto reciclado RCD

El Concreto Reciclado (RCD) es un material que se obtiene a partir de la transformación de residuos de construcción, demolición y laboratorios, principalmente hormigón, que se ha sometido a un proceso de reciclaje y tratamiento.

- **Físicas:** El Concreto RCD presenta una densidad y porosidad similares a las del hormigón tradicional. Sin embargo, su absorción de agua es mayor debido a la presencia de áridos reciclados. Esto puede afectar su conductividad térmica, lo que puede ser beneficioso en ciertas aplicaciones.
- **Mecánicas:** El Concreto RCD tiene resistencias a la compresión y tracción similares a las del hormigón tradicional. Sin embargo, su módulo de elasticidad puede ser ligeramente menor. La resistencia a la flexión también puede ser menor, pero esto no afecta significativamente su capacidad para soportar cargas.

- **Trabajabilidad:** La capacidad de trabajo del Concreto RCD puede ser afectada por la absorción de áridos reciclados. Sin embargo, esto puede ser mitigado mediante la adición de aditivos y la optimización del proceso de mezcla.
- **Durabilidad:** El Concreto RCD presenta una mayor resistencia a la corrosión y congelación y descongelación que el hormigón tradicional. Esto se debe a la presencia de áridos reciclados que reducen la porosidad y aumentan la densidad del material.

2.2.3. ESTABILIZACIÓN DE TALUDES

Los deslizamientos de tierra constituyen uno de los procesos geológicos más devastadores que afectan a la humanidad, provocando miles de víctimas mortales y daños catastróficos en la propiedad, con estimaciones anuales de pérdidas económicas que alcanzan decenas de billones de dólares (Brabb y Harrod, 1989). Estos eventos naturales no sólo tienen consecuencias fatales y financieras, sino que también impactan significativamente en la infraestructura, el medio ambiente y la calidad de vida de las comunidades afectadas.

2.2.4. TALUD

Un talud, o ladera, se define como una masa de tierra con pendiente o cambios significativos de altura que se aparta de la horizontalidad. En la literatura técnica, se establece una distinción entre ladera y talud según su origen: se denomina ladera cuando se forma de manera natural, y talud cuando se conforma artificialmente. Los taludes se pueden clasificar en tres categorías principales: terraplenes, cortes de laderas naturales y muros de contención. No obstante, es común encontrarse con combinaciones de estos tipos, lo que puede aumentar la complejidad de su estabilidad.

Aunque las laderas y taludes pueden permanecer estables durante años, pueden experimentar fallas debido a cambios significativos en su entorno. Esto puede suceder por alteraciones topográficas, actividad sísmica, flujos de agua subterránea, variaciones en la resistencia del suelo o meteorización. Además, factores tanto antrópicos como naturales pueden modificar su estado natural de estabilidad, transformando un talud inicialmente seguro en un deslizamiento de tierra.

Es fundamental resaltar que la estabilidad de un talud no solo depende de su diseño y construcción, sino también de las condiciones ambientales y geológicas que lo rodean. Por esta razón, es crucial evaluar cuidadosamente estos factores para prevenir fallas y garantizar la seguridad de las estructuras y las personas que las rodean.

2.2.4.1 Partes de un talud

Un talud se compone de tres secciones distintas, cada una con características específicas. La parte superior, también conocida como cabeza, cima, cresta o escarpe, es convexa y se encuentra en la zona más alta del talud. En esta sección, se producen procesos de denudación y erosión. Por debajo de la parte superior, se encuentra la sección intermedia, que presenta una forma semi-recta. Esta zona actúa como transición entre la parte superior y la parte inferior. Finalmente, la parte baja o inferior del talud es cóncava y se conoce como pie, pata o base. En esta sección, ocurren principalmente procesos de depositación, donde los materiales erosionados en la parte superior se acumulan.

Un talud o ladera se compone de varios elementos constitutivos clave:

- **Pie, pata o base:** Se refiere al punto de cambio brusco de pendiente en la parte inferior del talud o ladera. La forma del pie es generalmente cóncava.
- **Cabeza, cresta, cima o escarpe:** La cabeza es el punto de cambio brusco de pendiente en la parte superior del talud o ladera. Cuando la pendiente desde este punto hacia abajo es semi-vertical o de alta pendiente, se denomina escarpe. Los escarpes pueden coincidir con coronas de deslizamientos y suelen tener una forma convexa.
- **Altura:** Es la distancia vertical entre el pie y la cabeza. En taludes artificiales, esta medida es claramente definida, mientras que en laderas naturales puede ser complicada de cuantificar debido a la falta de accidentes topográficos bien marcados.
- **Altura de nivel freático:** Se define como la distancia vertical desde el pie del talud o ladera hasta el nivel de agua, donde la presión en el agua es igual a la presión atmosférica. Esta medida se realiza comúnmente debajo de la cabeza del talud.
- **Pendiente:** Es la medida de la inclinación de la superficie del talud o ladera, que puede expresarse en grados, porcentaje o relación m:1 (donde m es la distancia horizontal que corresponde a una unidad de distancia vertical). Por ejemplo, $45^\circ = 100\% = 1H:1V$.

Es importante destacar que la pendiente de una ladera está relacionada con la resistencia del material que la compone. Los suelos o rocas más resistentes suelen formar laderas de mayor pendiente, mientras que los materiales de baja resistencia o blandos tienden a formar laderas de baja pendiente.

2.2.5. DESLIZAMIENTO

Los deslizamientos de tierra son movimientos naturales que implican el desplazamiento de masas de tierra o rocas pendiente abajo, ya sea de forma súbita o lenta. Estos fenómenos pueden ser devastadores, causando importantes pérdidas materiales y de vidas. Los deslizamientos pueden clasificarse en dos categorías: lentos y rápidos. Los lentos se caracterizan por una velocidad imperceptible, generando pocos centímetros de material al año, mientras que los rápidos son movimientos bruscos que pueden desplazar varios metros en pocos minutos.

La ocurrencia de deslizamientos depende de varias variables clave, incluyendo la clase de rocas y suelos, la topografía, la cantidad de lluvia en el área, la actividad sísmica de la zona y la actividad humana. Además, la erosión, ya sea por actividad humana o natural, también puede contribuir a la formación de deslizamientos. Es fundamental comprender estas variables y factores desencadenantes para prevenir y mitigar los efectos devastadores de los deslizamientos de tierra. Al entender las causas y condiciones que contribuyen a estos fenómenos, podemos tomar medidas para proteger a las comunidades y los ecosistemas vulnerables.

2.2.5.1 Rotacional

Un desplazamiento rotacional se caracteriza por una superficie de falla cóncava hacia arriba y un movimiento rotacional en torno a un eje paralelo a la superficie y transversal al deslizamiento. En este tipo de movimiento, el centro de giro se ubica por encima del centro de gravedad del cuerpo en movimiento, lo que genera una serie de efectos visibles en la superficie. Visto en planta, el deslizamiento de rotación presenta grietas concéntricas y cóncavas que siguen la dirección del movimiento, produciendo una zona superior de hundimiento y otra inferior de deslizamiento. Esto, a su vez, provoca flujos de material por debajo del pie del deslizamiento y causa que la cabeza del movimiento bascule hacia atrás, mientras que los árboles se inclinan de manera diferente en la cabeza y en el pie del deslizamiento, revelando la complejidad y dinámica del proceso.

2.2.5.2 Traslación

El desplazamiento de traslación se caracteriza por el movimiento de una masa hacia afuera o hacia abajo, a lo largo de una superficie plana o ligeramente ondulada, sin apenas rotación o volteo. En este tipo de desplazamiento, la relación entre la distancia de deslizamiento (D_r) y la longitud de la rampa (L_r) es generalmente inferior a 0.1. Además, la masa en movimiento puede experimentar deformaciones y rupturas, especialmente en zonas de pendiente fuerte, lo que puede dar lugar a la formación de flujos de material. Esto sugiere que, aunque el movimiento traslacional es relativamente simple en términos de dirección, puede implicar procesos complejos de deformación y fragmentación de la masa.

2.2.5.3 Extensión lateral

El esparcimiento lateral, o extensión, se refiere a los movimientos que ocurren en taludes de baja pendiente, caracterizados por componentes predominantemente laterales. En este tipo de movimiento, la extensión lateral es el modo principal, y está acompañada de fracturas de corte y tensión que facilitan la deformación de la masa. Este fenómeno es común en rocas o suelos plásticos, como arcillas y limos sensibles, que experimentan una significativa pérdida de resistencia al ser removidos. En particular, las extensiones laterales son frecuentes en masas de roca que se apoyan sobre suelos finos y plásticos, donde la capacidad de deformación es mayor. Es fundamental considerar este tipo de movimiento al evaluar la estabilidad de taludes y laderas, ya que puede tener repercusiones significativas en la seguridad y el diseño de estructuras.

2.2.5.4 Hundimientos

Los hundimientos son movimientos verticales de masas de suelo que implican una disminución significativa del volumen del terreno. Aunque se clasifican como parte de los movimientos en masa o deslizamientos, no requieren necesariamente la presencia de un talud para que ocurra. Estos fenómenos pueden variar en magnitud, desde eventos de gran escala hasta movimientos más localizados y pequeños. Los hundimientos se deben a una variedad de causas naturales, que pueden influir en la estabilidad del terreno y provocar la disminución del volumen del suelo. Esta clasificación de movimientos en masa es importante para entender los procesos geológicos que subyacen a estos eventos, y para desarrollar estrategias efectivas para prevenir y mitigar sus efectos.

2.2.5.5 Avalancha

Las avalanchas son flujos de alta velocidad que se producen cuando una mezcla de roca, suelo y diversos residuos se desplaza ladera abajo, generando ríos de material que pueden alcanzar velocidades superiores a los 50 metros por segundo. Estos eventos suelen estar asociados con lluvias intensas, el deshielo de nevados, movimientos sísmicos en zonas montañosas y la falta de vegetación, los cuales pueden provocar la liberación repentina de energía. El movimiento de las avalanchas se caracteriza por un flujo turbulento de partículas, donde la transferencia de momento entre ellas y los bloques en colisión impulsa el movimiento, sin necesidad de una fase líquida o gaseosa. Los conos volcánicos son particularmente susceptibles a este tipo de fenómenos debido a su topografía y geología. Las avalanchas pueden causar consecuencias devastadoras, por lo que es crucial comprender sus causas y mecanismos para mitigar su impacto.

2.2.6. GESTIÓN DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN

En Colombia, los residuos no peligrosos se clasifican en dos categorías: aprovechables y no aprovechables, según la definición establecida en el Decreto 2891 de 2013. Los Residuos de Construcción y Demolición (RCD) son un tipo específico de residuos que se generan en las actividades de construcción, demolición, excavación, reparación y obras civiles, así como en actividades conexas y complementarias. Aunque la normatividad colombiana no establece una clasificación explícita para los RCD, existen pautas que permiten diferenciar aquellos residuos con potencial para su aprovechamiento posterior. En este sentido, la Tabla 1 ofrece una clasificación orientativa que facilita la identificación y separación de los residuos

aprovechables, sentando las bases para una gestión más eficiente y sostenible de estos residuos en el país.

Tabla 1. Clasificación de los Residuos de Construcción y demolición RCD

CATEGORÍA	GRUPO	CLASE	COMPONENTES
A. RCD APROVECHABLES	I. Residuos Mezclados	Residuos Pétreos	Concreto, cerámicos, ladrillos, arenas, gravas, baldosa, mortero
	II. Residuos de material fino	Residuos Finos no Expansivos	Arcilla (Caolín), limos y residuos inertes, poco o no plásticos
		Residuos Finos Expansivos	Arcillas (montmorillonitas) y lodos inertes con gran cantidad de finos altamente plásticos
	III. Otros Residuos	Residuos no Pétreos	Plásticos, PVC, maderas, cartones, papel, siliconas, vidrio, cauchos
		Residuos de Carácter Metálico	Acero, hierro, cobre, aluminio, estaño y zinc
		Residuos orgánicos de pedones	Residuos de tierra negra
		Residuos Orgánicos de cespedones	Residuos Vegetales y otras especies bióticas
B. RCD NO APROVECHABLES	IV. Residuos peligrosos	Residuos corrosivos, reactivos, radioactivos, explosivos	Desechos de productos químicos, emulsiones, alquitrán, pinturas, disolventes orgánicos, aceites, resinas, etc

Fuente: Ventaja y usos del concreto reciclado, Ing. Fabio Lizarazo, Secretaría Distrital de Ambiente, 2015

2.2.7. GAVIONES

En las acciones destinadas a proteger estructuras importantes contra el movimiento natural de tierras, se suelen considerar las estructuras de contención tipo gavión. Esto se debe a su versatilidad y bajo costo en comparación con las estructuras de concreto, que generalmente requieren más tiempo y recursos para su construcción. Además, los gaviones se han consolidado como uno de los mecanismos de prevención más utilizados a nivel mundial para evitar deslizamientos, gracias a su facilidad de aplicación, resistencia y su favorable relación con el medio ambiente.

2.2.7.1. Características De Las Estructuras En Gaviones

Los gaviones son una alternativa eficaz para las diferentes situaciones en que son requeridos. Los materiales que lo conforman son de fácil obtención o preparación y el proceso constructivo no necesita personal especializado. (Cano Valencia, 2007)

Una de las propiedades más destacadas del gavión es su deformabilidad, una característica crucial en proyectos donde la estructura debe soportar intensos empujes del terreno, especialmente cuando está cimentada en suelos inestables o propensos a la erosión. A diferencia de las estructuras rígidas, el fallo en los gaviones no es inmediato, lo que brinda la oportunidad de llevar a cabo acciones de recuperación de manera efectiva."

Dentro de las principales características de este tipo de estructura se encuentra:

- **Estructuración armada:** Resistentes a diferentes tipos de diseño requerido
- **Flexible:** capacidad de resistir solicitudes imprevistas.

- **Resistentes:** Los alambres de mallas tienen la resistencia y flexibilidad necesaria para soportar fuerzas generadas por el terreno o afluentes hídricos.
- **Drenaje:** dada su constitución con mallas son altamente permeables, lo que impide la generación de presión hidrostática.
- **Economía:** Fácil instalación en obra. No requiere mano de obra especializada.
- **Resistencia a la corrosión:** dada la composición del acero utilizado en las mallas (con recubrimiento), permite combatir la corrosión del acero y en los casos de mayor agresividad en la corrosión se utilizan con recubrimiento adicional en PVC.
- **Resistencia a la abrasión:** Está en función del material de que está hecha la malla y la cantidad de la esta.
- **Resistencia al impacto:** Dada la composición del gavión, y el llenado con piedra, permite la resistencia al impacto generado por el movimiento del terreno.

2.2.7.2. Composición

En términos generales, un gavión se compone de mallas de alambre galvanizado rellenas de materiales rocosos, como cantos rodados o calizas, formando estructuras tipo cajón. Es importante asegurarse de no utilizar materiales que se desintegran al entrar en contacto con el agua o la intemperie.

Estos agregados pétreos deben cumplir requerimientos normativos tales como:

- **Granulometría:** El tamaño de los fragmentos de roca utilizados debe ser de entre 10 y 30 cm, y en ningún caso debe ser menor que 10 cm.

- **Resistencia a la abrasión:** El desgaste de material al ser sometidos a ensayo (según la norma INV E-219), deberá ser inferior al 50%.
- **Absorción:** Su capacidad será inferior al 2%
- **Resistencia mecánica:** Los fragmentos de roca de llenado del gavión deben tener una resistencia a la compresión simple superior a 250 veces el nivel de esfuerzos al que estará sometida la estructura.

Tabla 2. Características del material granular para llenado de gaviones (Roca).

CARACTERÍSTICA	NORMA DE ENSAYO	REQUISITO
Granulometría (F)		
- Tamaño máximo (mm)	Nota 1	200
- Tamaño mínimo (mm)		100
Dureza (O)		
Desgaste en la máquina de los Ángeles (Gradación 1), máximo (%)	INV E-219	50
Durabilidad (O)		
Pérdidas en ensayo de solidez en sulfatos, máximo (%)	E-220	
- Sulfato de sodio		12
- Sulfato de magnesio		18
Resistencia mecánica (O)		
$\text{Relación } \frac{\text{Resistencia a la compresión simple}}{\text{Máximo esfuerzo de trabajo}}$	ASTM D7012 Método C	≥ 250
- La muestra para el ensayo se obtendrá tomando núcleos de piedras representativas		
Geometría de las partículas Nota 3		
Partículas con relación largo / espesor mayor que 3, máximo (%)	-	10 %
Masa unitaria (F)		
Masa unitaria de las canastas llenas con agregado compactado, mínimo (kg/m ³) Nota 3	Nota 2	1250
Absorción (O)		
Absorción de agua, máximo (%)	E-223	2.0
- La muestra para el ensayo se obtendrá fragmentando una muestra representativa de las piedras		

Fuente: INVIAS, 2013

- **Ejecución de relleno y atirantado:** Es esencial que el proceso de llenado se realice de manera que se logren áreas de contacto uniformes, evitando bordes entrantes o salientes entre los gaviones. Esto garantizará el menor porcentaje de

vacíos y una buena cohesión entre las piedras. Para alcanzar este objetivo, es fundamental hacer una disposición manual del material de relleno dentro de la canasta, distribuyéndolo por tamaño para minimizar los espacios vacíos. Las partículas más pequeñas deben colocarse en el centro, mientras que las más grandes se ubican cerca de la malla. Además, el material de llenado debe compactarse en capas, evitando dejar espacios en la parte superior de la canasta.

La elección del tipo de estructura de los gaviones ofrece ventajas tanto técnicas como económicas, considerando la relación entre sus características funcionales y los beneficios que presentan en comparación con otras estructuras similares. (MACCAFERRI, 2017).

El presente trabajo pretende evaluar la funcionalidad del uso de materiales de relleno, derivados de desechos de la construcción, en los gaviones. La selección de estos materiales es crucial para garantizar la eficacia de la estructura.

La malla en particular debe tener por lo menos las siguientes características:

- Elevada resistencia mecánica.
- Elevada resistencia contra la corrosión.
- Buena flexibilidad.

Aunque la construcción de gaviones es un proceso relativamente sencillo, el objetivo final es lograr una estructura monolítica, resistente, duradera, flexible, permeable, práctica y versátil, que además tenga un bajo impacto ambiental y económico, en consonancia con el presente trabajo. Es importante resaltar que la estructura de un gavión no actúa como una barrera impermeable para las aguas de infiltración y percolación, lo que garantiza que las líneas de

flujo se mantengan inalteradas. Por lo tanto, se puede afirmar que su impacto en la flora y fauna es mínimo. Además, los gaviones se integran visualmente en el entorno de la obra, ofreciendo beneficios arquitectónicos valiosos cuando se requieren. (MACCAFERRI, 2017).

Como tipos de estructuras de contención a gravedad se pueden considerar los siguientes tipos:

- **Gaviones tipo caja:** constituido como una estructura metálica en forma de paralelepípedo, producida a partir de un único paño de malla hexagonal de doble torsión, que forma la base, la tapa y las paredes frontal y trasera (MACCAFERRI, 2017). En la ilustración 2 se observa esquemáticamente los elementos que constituyen este tipo de gaviones.

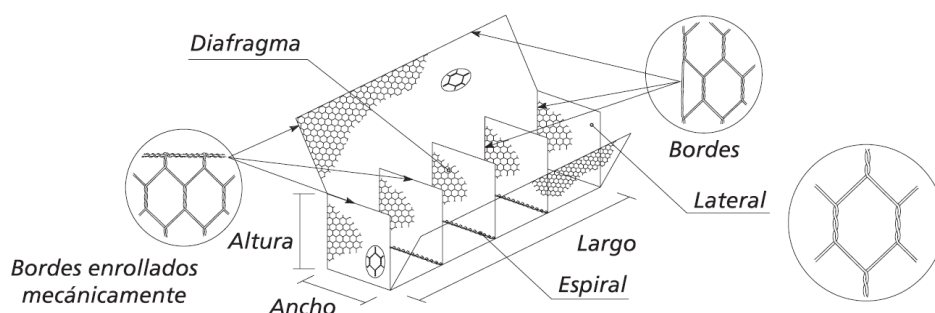


Ilustración 1. Elementos que componen los gaviones tipo caja. Fuente: MACCAFERRI, 2017

- **Gaviones tipo saco:** conformados por estructuras metálicas con forma de cilindro, constituidos por un único paño de malla hexagonal de doble torsión que en sus bordes libres presenta un alambre especial que pasa alternadamente por las mallas para permitir el montaje del elemento en obra (MACCAFERRI, 2017). En la ilustración 3 se observa esquemáticamente los elementos que constituyen este tipo de gaviones.

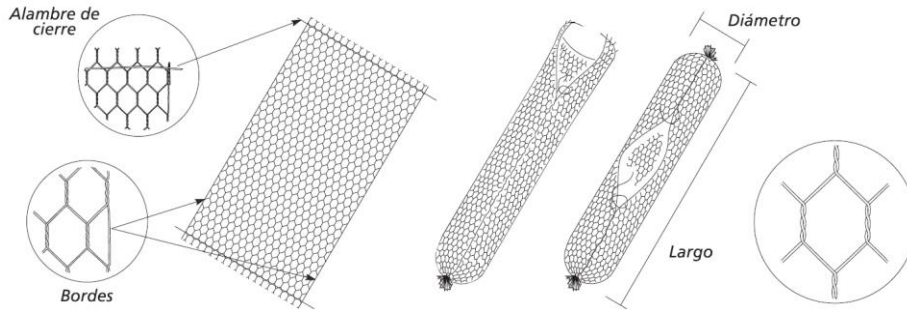


Ilustración 2. Elementos que componen los gaviones tipo saco. Fuente: MACCAFERRI, 2017

- Gaviones tipo colchón reno:** Estos constituyen una forma de paralelepípedo de gran área y pequeño espesor. Está formado por dos elementos separados, la base y la tapa, ambos producidos con malla hexagonal de doble torsión (MACCAFERRI, 2017). En la ilustración 4 se observa esquemáticamente los elementos que constituyen este tipo de gaviones.

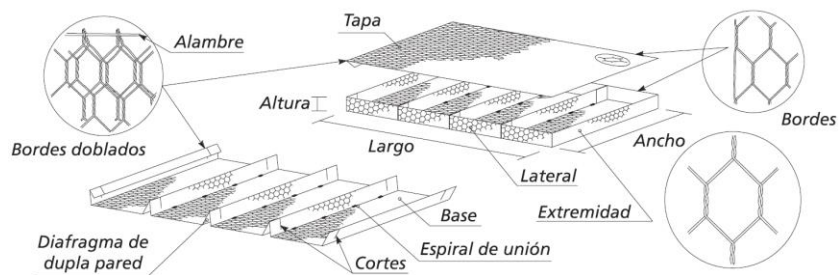


Ilustración 3. Elementos que componen los gaviones tipo colchones Reno. Fuente: MACCAFERRI, 2017

2.3 MARCO DEMOGRAFICO

Gracias al progreso en la construcción en Boyacá, se propone analizar la implementación de usos alternativos para los residuos de construcción y demolición (RCD) generados en estos procesos. Estos residuos son un subproducto del desarrollo económico del departamento y requieren una atención especial.

El proyecto se enfoca en la ciudad de Tunja en Boyacá, la cual cuenta con 121,4 km² y está ubicada en las coordenadas 5°32'7"N 73°22'04"O y su longitud en relación con Bogotá es de 0 grados, 43 minutos y 0 segundos. Ubicado en la cordillera oriental, donde se presenta diversa topografía y presentan variadas condiciones ambientales. El departamento de Boyacá cuenta con 23.189 km², con una referencia geográfica entre 04°39'10" y 07°03'17" de latitud norte y de longitud oeste los 71°57'49" y los 74°41'35". Este es un punto de correlación y articulación con varios departamentos del país que enfrentan la necesidad de implementar soluciones ingenieriles para abordar problemas geológicos relacionados con la estabilidad de taludes. Por lo tanto, es fundamental desarrollar estructuras alternativas que cumplan con las especificaciones técnicas establecidas.

2.4 MARCO LEGAL E INSTITUCIONAL

La implementación de concreto tipo RCD en la construcción de gaviones para estabilización de taludes está sujeta a un conjunto de normas y regulaciones que buscan garantizar la seguridad, calidad y sostenibilidad de las obras de infraestructura. En Colombia, el marco legal y normativo para la construcción y el manejo de residuos está establecido por normas que regulan la actividad.

Normas

- **INVIAS 219/13:** Desgaste.
- **NTC-673:** Resistencia a la compresión.
- **INVIAS 220/13:** Solidez.
- **INVIAS 223/13:** Absorción.
- **NSR-10:** Normas Colombianas de Construcción Sismo Resistente.
- **INV E-229:** Dureza - desgaste en la máquina de Los Ángeles (Gradación 1).
- **ASTM D7012:** Standard Test Methods for Compressive Strength and Elastic Moduli of Intact Rock Core Specimens under Varying States of Stress and Temperatures (Métodos de Prueba Estándar para Fuerza de Compresión y Módulos Elásticos de Especímenes de Núcleo de Roca Intacta bajo Estados Variados de Estrés y Temperaturas). Método C.
- **ASTM D6913:** Standard Test Methods for Particle-Size Distribution (Gradation) of Soils Using Sieve Analysis (Métodos de Prueba Estándar para la Distribución del Tamaño de Partículas (Gradación) de Suelos Usando Análisis de Tamiz).

- **ASTM C136:** Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates. (Método de Prueba Estándar para el Análisis de Tamices de Agregados Finos y Gruesos).
- **I.N.V E-410-13:** Ensayo de resistencia a la compresión.
- **INV E-506-07:** Elaboración de canastas de alambre para gaviones y colchogaviones.

Las normas vigentes establecen requisitos y estándares específicos para garantizar la calidad y sostenibilidad de las obras de infraestructura, abarcando aspectos clave como la calidad y caracterización de materiales, el diseño y construcción de gaviones, el manejo y disposición adecuados de residuos y la protección del medio ambiente, con el objetivo de asegurar la ejecución responsable y eficiente de proyectos de construcción.

CAPÍTULO 3. MARCO METODOLÓGICO

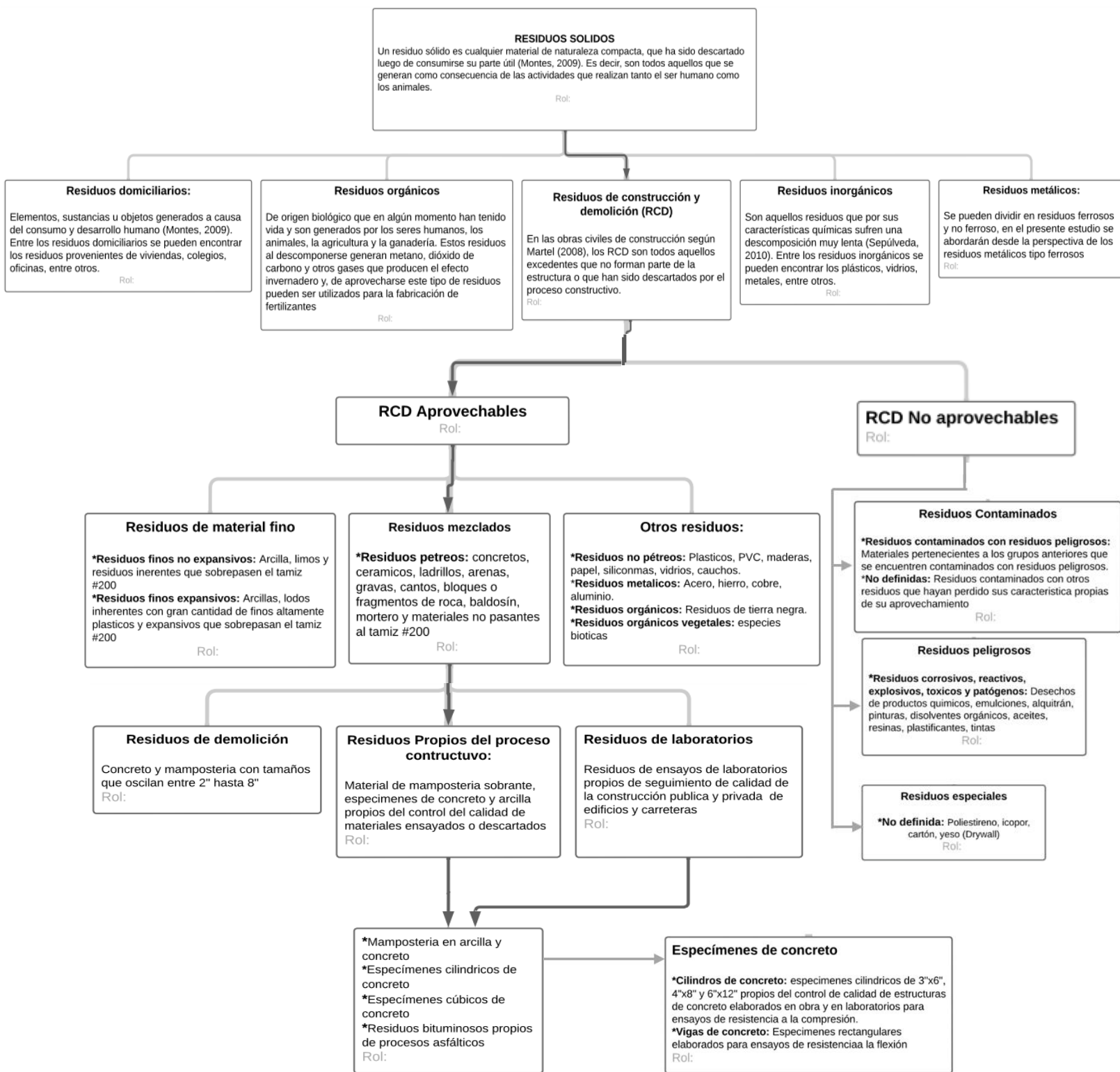


Ilustración 4. Clasificación de residuos (RCD de estudio)

El desarrollo del presente proyecto de investigación implica la recopilación de información bibliográfica, a partir de la cual se establecerán los parámetros necesarios para las estimaciones propuestas. Tras obtener la información sobre el manejo y aprovechamiento de residuos del tipo RCD, se procederá a determinar las características mecánicas de los materiales que se contemplan utilizar en las estructuras de contención. Este proceso es fundamental para evaluar los materiales seleccionados como una alternativa viable de relleno para gaviones, utilizando la información secundaria recopilada. Finalmente, se analizará el comportamiento potencial de estos materiales, con el propósito de relacionarlos con su viabilidad técnica y económica.

Considerando el objetivo del proyecto, priorizamos la evaluación experimental de las propiedades mecánicas de cilindros de concreto provenientes del proceso final de ensayos de laboratorio y que han sido descartados como RCD, para ello, lo primero es seleccionar los especímenes de los acopios de escombros generados y almacenados por un laboratorio de suelos, tal como se ilustra en la figura 5. Estos cilindros han sido elegidos para llevar a cabo las distintas fases de experimentación necesarias para asegurar el éxito de la investigación.



Ilustración 5.acopio de material escombros, Fuente: laboratorio de suelos López Hermanos SAS Tunja-Boyacá

3.1 SELECCIÓN DE MATERIALES

Considerando la necesidad de establecer criterios de selección y una estimación del rendimiento de este tipo de material, los RCD fueron caracterizados en el laboratorio de suelos y materiales López Hermanos SAS. En este laboratorio, se maneja una gran cantidad de residuos provenientes de cilindros tanto ensayados como no ensayados, que no se disponen adecuadamente y se acumulan en las instalaciones. Estos residuos están destinados a su posterior disposición en escombreras municipales y en el relleno sanitario del municipio.

Como se muestra en la ilustración 5, se dispuso de un contenedor completamente lleno de material de RCD sin clasificar, en el cual se identificaron diversos tipos de residuos, incluyendo concreto (cilindros y vigas), mampostería (bloques y ladrillos de arcilla), adoquines (de arcilla y concreto) y material granular de origen pétreo resultante de ensayos granulométricos (arena, grava, recebo, asfalto, entre otros). El contenedor tenía un volumen

total de 3 m³, de los cuales un 80% (es decir, 2.4 m³) correspondía a residuos de concreto, incluyendo cilindros, adoquines y vigas.

Siguiendo el criterio para la conformación de un gavión y con el objetivo de asegurar un correcto apilamiento de los especímenes que garantice una adecuada estabilidad geométrica de la estructura, hemos determinado que los cilindros óptimos para nuestra investigación deben tener una integridad superior a dos tercios de su estado original. Esto significa que un espécimen de concreto que, tras el ensayo de compresión, conserve al menos dos tercios de su tamaño e integridad original será validado para su estudio. Este tamaño se establece como el óptimo para la conformación de la estructura de contención. En el caso de las vigas de concreto, deducimos que el 90% de las que se caracterizaron cumplen con los requisitos geométricos para la conformación de un gavión. Sin embargo, estos especímenes presentan una forma rectangular que no se aplicará adecuadamente con los cilindros de concreto dentro de una misma canastilla. Por lo tanto, se establece que es necesario conformar canastillas utilizando especímenes de geometría uniforme para garantizar su efectividad en la contención de la presión de tierras.

De los 100% de los especímenes caracterizados, aproximadamente el 45% cumplió con los requisitos de conformidad geométrica necesarios para llevar a cabo una caracterización mecánica del material que los compone. Esto no implica que los demás especímenes no sean aptos para su uso en la estructura; de hecho, el material de tipo RCD puede ser empleado en la conformación de la capa subyacente del terraplén de la estructura de contención, contribuyendo así al mejoramiento mecánico del subsuelo.

De acuerdo con la geometría utilizada, determinamos que para construir 1 m³ de una estructura de gaviones se requieren aproximadamente 222 elementos que mantengan al menos dos tercios de su forma original. Estos elementos deben tener dimensiones de 15 cm de diámetro y 20 cm de longitud, dispuestos de manera intercalada o en traba, lo que contribuye a incrementar su resistencia al desplazamiento. Además, es importante que la longitud de los elementos se coloque de forma perpendicular a la cara del talud que se desea estabilizar

Al comparar los costos del material reciclado con el material rocoso convencional utilizado en proyectos de estabilización de taludes, se encuentra que los residuos de demolición y los residuos cilíndricos generados por la actividad de construcción representan una alternativa sostenible. Esta opción no solo mejora la relación costo-beneficio en comparación con los materiales tradicionales, sino que también destaca el potencial de la “economía verde”.

Una vez identificados los especímenes a estudiar, procedimos a evaluar las propiedades intrínsecas del material mediante la obtención de muestras representativas y la realización de ensayos de laboratorio. Esto se llevó a cabo siguiendo los criterios establecidos en el artículo 681-07, que detalla los aspectos técnicos necesarios para las estructuras tipo gavión y ofrece una guía clara y precisa sobre el proceso de elaboración de dichas estructuras, así como los componentes requeridos.

Para la caracterización de nuestro material de estudio, decidimos utilizar cilindros que mantengan al menos el 80% de sus dimensiones originales, dado el dimensionamiento estándar de las mallas disponibles en el mercado. Sin embargo, es importante señalar que

otros especímenes que no cumplan con este criterio pueden ser utilizados para estabilizar la capa subyacente de la estructura o como relleno en estructuras de menor volumen.

3.1 ANÁLISIS EXPERIMENTAL

3.1.1. ETAPA 1 ANÁLISIS Y CARACTERIZACIÓN DE MUESTRAS

En esta etapa se realizan los ensayos a una muestra significativa de material de RCD que constituye la materia prima de esta investigación, como lo son los cilindros de concreto de 150 cm x 300 cm y las vigas de concreto de 500 mm X 150 mm y basándonos en el Manual de construcción de gaviones de Rafael Ernesto Bolívar Trujillo, se realizaron Trabajos de caracterización de los especímenes pertinentes de las instalaciones del edificio de ingeniería de la Juan de Castellanos y del laboratorio de suelos “hermanos Lopez”, estos ensayos se realizaron en las instalaciones del laboratorio de suelos y materiales “ZOFRE SAS” donde se cuentan con los espacios y equipos de laboratorio necesarios los cuales incluyen:

3.1.1.1. Resistencia A La Degradación O Desgaste De Agregados Por Medio De La Máquina De Los Ángeles. INV E 219 - 13

Este ensayo evalúa la degradación de un agregado pétreo con una composición granulométrica específica, resultante de una combinación de acciones como abrasión, impacto y molienda. Este proceso se lleva a cabo en un tambor de acero rotatorio que contiene 12 esferas metálicas. A medida que el tambor gira, una lengüeta metálica recoge la muestra junto con las esferas de acero y las arrastra hasta que caen por gravedad en el extremo opuesto del tambor, generando así un efecto de impacto y trituración. Al finalizar el número

establecido de revoluciones, se vacía el contenido del tambor y se tamiza la porción de agregado para medir la degradación, expresada como un porcentaje de pérdida.

Materiales y equipos

- **Máquina de los ángeles:** Consiste en un cilindro hueco de acero cerrado en ambos extremos con una longitud interior de 508 ± 5 mm y un diámetro interior de 711 ± 5 mm fabricado con una placa de acero de espesor no menor de 12.4 mm y provisto de una abertura para introducir y retirar con facilidad la muestra de ensayo.
- **Tamices:** De las aberturas indicadas posteriormente, más uno de 1.70 mm (N° 12).
- **Balanza:** Una balanza con exactitud de 0.1% en relación con la masa de ensayo.
- **Carga:** Consiste en esferas de acero de diámetro aproximado de 46.8 mm y una masa de 390 g y 445 g. La carga abrasiva dependerá de la granulometría de ensayo A, B, C o D.

Tabla 3. Carga Maquina de los ángeles

GRANULOMETRÍA	NÚMERO DE ESFERAS	MASA DE LA CARGA
A	12	5000+25
B	11	4584+25
C	8	3330+20
D	6	2500+15

Fuente: INV E-219.13

- **Horno:** Con capacidad suficiente y que pueda mantener temperatura constante de 110°C ±5°C.

Cálculos:

El resultado del ensayo se calcula como la diferencia entre la masa inicial y la masa final de la muestra analizada, expresándose como un porcentaje de la masa inicial:

$$\%Pérdidas = \frac{M1 - M2}{M1} * 100$$

Donde:

M1= Masa de la muestra seca antes del ensayo, (g)

M2= Masa de la muestra seca después del ensayo, previo lavado sobre tamiz de 1.70 mm (N° 12), (g).

3.1.1.2. Ensayo De Absorción De Agua En Agregado Grueso INV E 223 - 13

Esta norma establece el procedimiento a seguir para determinar la densidad promedio, la densidad relativa y la absorción del agregado grueso. Su objetivo es evaluar la densidad de la porción esencialmente sólida de un gran conjunto de partículas de agregado, proporcionando un valor promedio que represente adecuadamente la muestra analizada.

Materiales y equipo

- **Canastillas metálicas:** como recipientes para las muestras en toma de masas sumergidas. Se dispondrá de dos tipos de canastillas metálicas, de igual base y altura, fabricadas con rigidez suficiente con malla de 3.35mm.
- **Balanza:** con legibilidad y exactitud de 0.05% del peso de la muestra dentro del rango empleado en el ensayo, o 0.5g, el que sea mayor.
- **Tanque de agua:** un tanque de agua que permita que la canastilla metálica con la muestra quede totalmente inmersa y suspendida debajo de la balanza
- **Tamices:** un tamiz de 4.75mm de abertura (N°4) y los demás que se puedan requerir.
- **Horno:** Con capacidad suficiente y que pueda mantener temperatura constante de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.

Cálculos:

- **Densidad relativa seca al horno (SH):** Se calcula sobre la base del agregado secado al horno:

$$SH = \frac{M1}{(M2 - M3)}$$

Donde:

M1= Masa al aire de la muestra seca al horno, (g).

M2= Masa al aire de la muestra saturada y superficialmente seca, (g).

M3= Masa aparente de la muestra saturada en agua, (g).

- **Densidad relativa en estado SSS:** se calcula sobre la base del agregado en condición saturada y superficialmente seca:

$$SSS = \frac{M2}{(M2 - M3)}$$

Donde:

M2= Masa al aire de la muestra saturada y superficialmente seca, (g).

M3= Masa aparente de la muestra saturada en agua, (g).

- **Densidad relativa aparente:** se calcula así:

$$Gs \text{ aparente} = \frac{M1}{(M1 - M3)}$$

Donde:

M1= Masa al aire de la muestra seca al horno, (g).

M3= Masa aparente de la muestra saturada en agua, (g).

- **Absorción:** se calcula en porcentaje con la expresión:

$$\text{Absorción, \%} = \frac{M2 - M1}{(M1)} * 100$$

Donde:

M1= Masa al aire de la muestra seca al horno, (g).

M2= Masa al aire de la muestra saturada y superficialmente seca, (g).

3.1.1.3. Ensayo Solidez De Los Agregados Frente A La Acción De Sulfato De Sodio O De Magnesio INV E 220 – 13

Esta norma establece el procedimiento para determinar la resistencia de los agregados pétreos ante las condiciones ambientales en aplicaciones de concreto y otras. Para simular este efecto, los agregados se someten a inmersiones repetidas en soluciones saturadas de sulfato de sodio o de magnesio, seguido de un secado en horno que permite deshidratar parcial o completamente la sal que se precipita en los poros de las partículas del agregado. A través de este método, se puede obtener información valiosa que ayuda a evaluar la resistencia de los agregados frente a la acción de los agentes atmosféricos.

Materiales y equipos

- **Tamices:** un tamiz de 4.75mm de abertura (N°4) y los demás que se puedan requerir.

Tabla 4. Tamices requeridos para el ensayo

SERIE FINA	SERIE GRUESA
N° 100	8,0 mm
N° 50	9,5 mm
N° 30	12,5 mm
N° 16	16 mm
N° 8	19 mm
N° 5	25 mm
N° 4	31,5 mm
	37,5 mm
	50 mm
Los tamices mayores de 63 mm se deberán tomar en incrementos de 12,5mm (1/2")	63 mm

Fuente: INV_E_220-13

- **Regulador de temperatura:** se debe disponer de un medio apropiado para la regulación de la temperatura de la solución durante el periodo de inmersión en sulfato de sodio o de magnesio.
- **Termómetro:** un termómetro con precisión de lectura de 0.1 °C
- **Balanza:** para agregado fino se requiere una balanza con legibilidad de 0.1g, en el intervalo requerido para el ensayo; para el agregado grueso, se necesita una balanza con aproximación de lectura al 0.1% de la masa de la muestra o 1g, la que sea mayor.

- **Horno:** Con capacidad suficiente y que pueda mantener temperatura constante de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.
- **Medidores de gravedad específica - Hidrómetros** que cumplan con los requisitos de la INV_E_123-13

Examen cualitativo:

Se realiza un examen cualitativo de las muestras de ensayo con un tamaño superior a 19.0 mm. Las partículas de cada muestra se agrupan según el efecto que produce la acción del sulfato de sodio o magnesio. Se registra el número de partículas que presentan algún tipo de afectación.

La acción del sulfato puede manifestarse de diversas formas, que generalmente se pueden clasificar en desintegración, fragmentación, rotura, agrietamiento, formación de lascas y descascaramiento, entre otras. Si bien el examen cualitativo se centra principalmente en las partículas de tamaño superior a 19.0 mm, se recomienda también realizar un análisis de las partículas de tamaños inferiores para detectar posibles casos de fragmentación excesiva.

3.1.1.4 Método de prueba estándar para Resistencia a la compresión y módulos de elasticidad de avería de muestras de roca de núcleo bajo diferentes estados de estrés y temperaturas. ASTM-D-7012

Estos métodos de ensayo permiten determinar la fuerza de los especímenes de núcleo de roca intacta bajo compresión uniaxial y triaxial. Estas pruebas proporcionan datos cruciales para evaluar la resistencia uniaxial, las fuerzas de cizallamiento a diferentes presiones, el ángulo de fricción interna (también conocido como ángulo de resistencia al cizallamiento) y la

cohesión intercepción. De este modo, los valores de resistencia obtenidos se expresan en términos de tensión total, es decir, sin corrección por las presiones intersticiales.

Materiales y equipo

- **Balanza:** para agregado fino se requiere una balanza con legibilidad de 1g, en el intervalo requerido para el ensayo.
- **Máquina de ensayo:** que tenga la suficiente capacidad y pueda proveer las tareas de carga establecidas. La precisión de la máquina se rige de acuerdo a la NTC 3341.
- **Bloques de apoyo:** deben ser de acero con caras endurecidas, sus dimensiones mínimas deben superar al menos un 3% del diámetro nominal del espécimen que será ensayado.

Cálculos:

- **Densidad:** La resistencia a la compresión uniaxial (σ_u), o el triaxial se calculará la fuerza σ de la muestra de ensayo a la compresión de la siguiente manera:

$$\sigma_u = \frac{P}{A}$$

Donde:

σ_u = Resistencia a la compresión uniaxial

P= Carga de rotura

A= Área de la sección transversal, estrés insuficiencia

3.1.1.5. Ensayo Resistencia A La Compresión De Cilindros De Concreto NTC 673:2021

Este método de ensayo se enfoca en la determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto, específicamente aquellos con una densidad superior a 800 kg/m³. El ensayo consiste en aplicar una carga triaxial de compresión a los especímenes a una velocidad de carga prescrita, hasta que se produce la falla. El valor de la resistencia a la compresión se calcula a partir de la relación entre la carga máxima aplicada durante el ensayo y el área de la sección transversal del espécimen.

Materiales y equipo

- **Balanza:** para agregado fino se requiere una balanza con legibilidad de 1g, en el intervalo requerido para el ensayo.
- **Máquina de ensayo:** que tenga la suficiente capacidad y pueda proveer las tareas de carga establecidas. La precisión de la máquina se rige de acuerdo a la NTC 3341.
- **Bloques de apoyo:** deben ser de acero con caras endurecidas, sus dimensiones mínimas deben superar al menos un 3% del diámetro nominal del espécimen que será ensayado.

Cálculos:

- **Densidad:** Se calcula la densidad del espécimen así:

$$\text{Densidad} = \frac{M}{V}$$

Donde:

M= Masa del espécimen, (kg).

V= Volumen del espécimen, calculado a partir del diámetro promedio y la longitud promedio

- La resistencia a la compresión del espécimen se determina dividiendo la carga máxima soportada durante el ensayo entre el promedio de la sección transversal. El resultado se expresa con precisión, redondeando al valor más cercano de 0,1 MPa [10 psi].
- La norma presenta esquemas de patrones de falla típicos para poder establecer correlaciones entre el tipo de falla y la resistencia obtenida en cada ensayo de compresión.

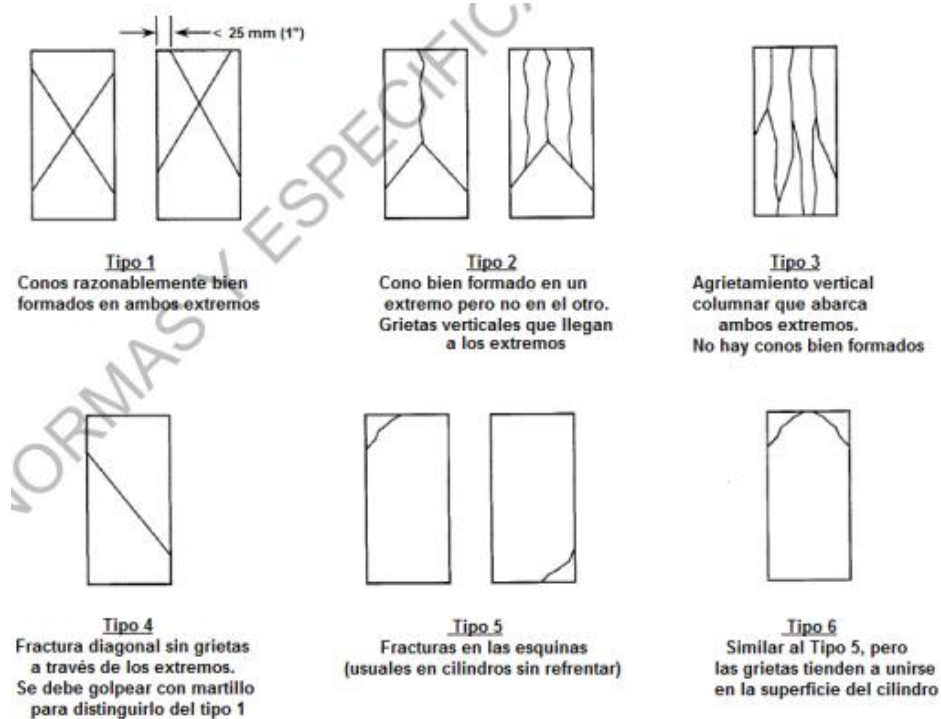


Ilustración 6. Esquemas de patrones típicos de falla

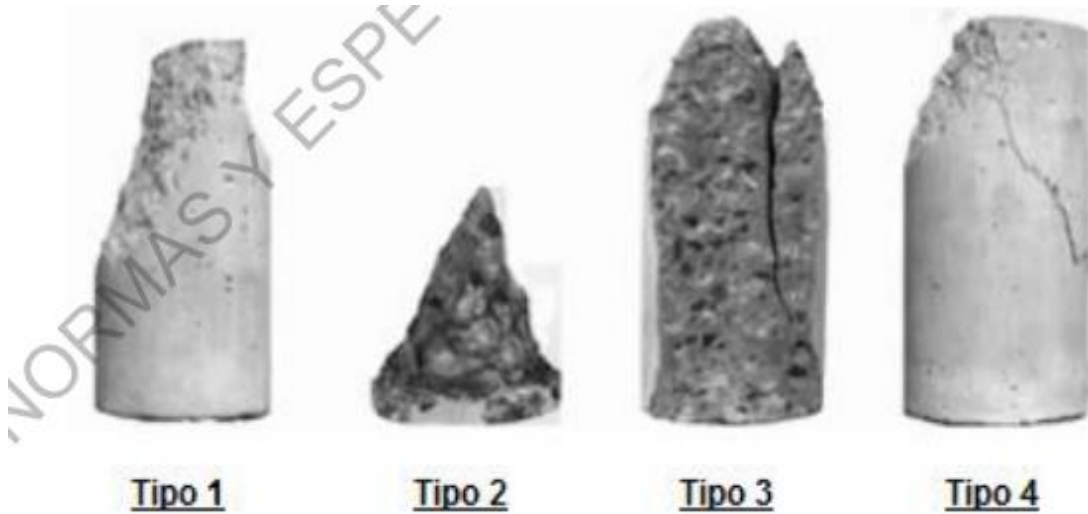


Ilustración 7. Fotografías de patrones típicos de falla

Para nuestro estudio, hemos decidido que la selección de especímenes se enfocará en cilindros que presenten fallas de tipo 4, 5 y 6 como lo muestra la Ilustración 8. Este enfoque garantiza que se conserve la integridad de los cilindros en la mayor medida posible, lo que facilitará una mejor conformación del relleno de la estructura y minimizará la incorporación de un porcentaje significativo de vacíos.



Ilustración 8. espécimen de falla tipo 5, Elaboración propia

Para asegurar una mejor comprensión, en la Tabla 5 hemos resumido los estudios que se llevarán a cabo sobre el material de RCD. Esto nos permitirá caracterizar sus propiedades mecánicas y tomar decisiones informadas sobre su viabilidad para su uso en estructuras de contención.

Tabla 5. Compilado Ítems de caracterización

ENSAYO	NORMA	DESCRIPCIÓN
Análisis Granulométrico	<i>INV_E_213-13</i>	Se determina el tamaño de partículas de los materiales de manera cualitativa mediante un flexómetro teniendo en cuenta las dimensiones de los especímenes
Resistencia a la degradación de los agregados	<i>INV_E_219-13</i>	se determina el porcentaje de pérdida para tamaños superiores a 19 mm
Determinación de densidad y absorción de los materiales	<i>INV_E_223-13; INV_E_-222-13</i>	Se establece la masa por unidad de volumen de un material y el incremento de masa del mismo debido a la penetración del agua.
Ensayo de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto	<i>NTC-673-2021</i>	El ensayo se realiza a los especímenes previamente seleccionados según el criterio
Ensayo solidez de los agregados frente a la acción de sulfato de sodio o de magnesio	<i>INV_E_220-13</i>	El ensayo se realiza con solución de sulfato de magnesio
Resistencia a la compresión y módulos de elasticidad de avería de muestras de roca de núcleo	<i>ASTM-D-7012</i>	Se extrae un núcleo de concreto a partir de un cilindro para la ejecución del ensayo

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO 4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este capítulo, se presentan los resultados obtenidos de los ensayos realizados en el proyecto, cuyo objetivo principal es evaluar la viabilidad técnica y normativa de utilizar residuos de construcción y demolición (RCD) en gaviones para la estabilización de taludes. Esta evaluación es crucial para determinar la factibilidad y eficacia de esta solución innovadora y sostenible. Para lograr este objetivo, se realizó una comparativa exhaustiva entre los resultados obtenidos y las normas y estándares establecidos en la industria de la construcción y la ingeniería civil. Esta comparativa permitió evaluar el grado de cumplimiento y adecuación de los RCD en este tipo de aplicaciones, considerando factores como la resistencia mecánica, la durabilidad y la seguridad. El análisis de los resultados se centró en la verificación del potencial de los RCD como solución efectiva para la estabilización de taludes, teniendo en cuenta su impacto ambiental y económico. Esto implica evaluar la capacidad de los RCD para:

- Reducir la erosión y la inestabilidad de los taludes.
- Mejorar la resistencia y la durabilidad de las estructuras.
- Ofrecer una alternativa sostenible y innovadora a los materiales tradicionales

La evaluación de la viabilidad técnica y normativa de los RCD en gaviones para la estabilización de taludes es fundamental para:

- Determinar la factibilidad de su implementación en proyectos de construcción.
- Establecer parámetros y estándares para su uso.
- Identificar oportunidades de mejora y optimización.

- Promover la innovación y la sostenibilidad en la industria de la construcción

Tabla 6. *Compilado Ensayos de laboratorios*

ITEM	NORMA	REQUERIMIENTO	RESULTADO
Granulometría	<i>INV_E_219-13</i>	$10 \text{ cm} \leq X < 30 \text{ cm}$	15 cm x 28cm
Resistencia a la degradación de los agregados	<i>INV_E_213-13</i>	$\leq 50\%$	39%
Ensayo solidez de los agregados frente a la acción de sulfato de sodio o de magnesio	<i>INV_E_220-13</i>	Sulfato de sodio $\leq 12\%$ Sulfato de magnesio $\leq 18\%$	- 4.2%
Determinación de densidad y absorción de los materiales	<i>INV_E_223-13;</i> <i>INV_E_-222-13</i>	$\leq 2\%$	2%
Ensayo de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto	<i>NTC-673-2021</i>	$> 21 \text{ MPa}$	23.9 MPa
Resistencia a la compresión y módulos de elasticidad de avería de muestras de roca de núcleo	<i>ASTM-D-7012</i>	$> 25 \text{ MPa}$	38.06 MPa

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 6, se presentan los resultados obtenidos de los ensayos realizados sobre las muestras analizadas, junto con los valores normativos correspondientes. Esto permitirá comparar y evaluar el cumplimiento de cada uno de los ítems de evaluación.

4.1. Granulometría (INV_E_219-13)

A partir de los resultados de laboratorio obtenidos para determinar los parámetros mecánicos del RCD (Residuos de Construcción y Demolición) en estudio, se ha establecido que el tamaño promedio de los especímenes seleccionados supera los 10 cm (4”).

4.2. Informe de Ensayo Absorción (INV_E_223-13)

Tabla 7. Ensayo Absorción

MUESTRA	LARGO (mm)	ANCHO (mm)	ALTO (mm)	MASA SECA (g)	MASA SSS (g)	ABSORCIÓN (%)
1	302	151	154	10562,0	11008,0	4%
2	300	151	154	10550,0	10761,0	2%
3	301	151	152	10542,4	10647,8	1%
4	299	151	152	10398,4	10606,4	2%
5	285	151	151	10535,6	10593,5	1%

Fuente: Elaboración propia

Promedio De La Absorción (%): 2%

Tabla 8. Datos de la Balanza

CÓDIGO INTERNO	ZF-EQ-068
CAPACIDAD MÁXIMA (g)	30000,00
PRECISIÓN(g)	1,00
FECHA DE CALIBRACIÓN	2023-10-03
REFERENCIA	NT170355

Fuente: *Elaboración propia*

En relación con el ensayo de absorción, se observa que la masa de la porción representativa de los especímenes de concreto tipo RCD aumenta un 2% debido a la penetración de agua en los poros de sus partículas, lo que se encuentra dentro de los requisitos normativos establecidos. Es relevante señalar que, en la selección de los especímenes adecuados para la elaboración del enmallado de las estructuras tipo gavión, es común encontrar materiales plastificantes que forman parte de aditivos impermeabilizantes para el concreto. Estos especímenes son ideales para ubicarlos en la parte inferior y en los intercostales de la estructura, ya que estarán en contacto directo con el suelo natural o con el suelo mejorado utilizado para la cimentación, así como con el material de relleno destinado a la estabilización de taludes. Este posicionamiento es crucial, ya que estos especímenes experimentaron una mayor exposición a la carbonatación debido al contacto con el nivel freático generado por la escorrentía presente en la base del talud. De este modo, se logra proteger a los otros especímenes que conforman el resto del relleno de la malla, lo que contribuye a incrementar la vida útil de la estructura.

4.3. Resultados De La Resistencia Da La Degradación De Los Agregados Tamaños Mayores De 19 Mm (3/4") Por Medio De La Máquina De Los Ángeles. (INV E 219 – 13)

Tabla 9. Resultados LAB Desgaste

DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	Material tipo RDC
FECHA DE RECOGIDA	2024-06-20

TIPO DE GRANULOMETRÍA UTILIZADA	1
NÚMERO DE ESFERAS	12
MASA DE LA MUESTRA SECA ANTES DEL ENSAYO, g (P ¹)	10011
MASA DE LA MUESTRA SECA DESPUÉS DEL ENSAYO, PREVIO LAVADO SOBRE TAMIZ (No.12), g 200 REVOLUCIONES	10011
MASA DE LA MUESTRA SECA DESPUÉS DEL ENSAYO, PREVIO LAVADO SOBRE TAMIZ (No.12), g 1000 REVOLUCIONES	6075
PÉRDIDA DEL AGREGADO, g	3936

NÚMERO DE REVOLUCIONES	DESGASTE (%)
200 REVOLUCIONES	-
1000 REVOLUCIONES	39

Fuente: Elaboración propia

Tabla 10. Gradación, Carga Abrasiva Y Revoluciones.

TAMAÑOS DE TAMIZ		MUESTRA PARA EL ENSAYO (g)		
PASA	RETIENE	1	2	3
75 mm (3")	63 mm (2½")	2500±50	-	-
63 mm (2½")	50 mm (2")	2500±50	-	-
50 mm (2")	37.5 mm (1½")	5000±50	5000±50	-
37.5 mm (1½")	25 mm (1")	-	5000±25	5000±25
25 mm (1")	19 mm (¾")	-	-	5000±25
MASA ESPECÍFICA		10000±100	10000±75	10000±50
NÚMERO DE ESFERAS		12	12	12
NÚMERO DE REVOLUCIONES		1000	1000	1000

Fuente: Elaboración propia

Identificamos que, en un escenario real, al ser sometido a las tensiones de presión de tierras y al desgaste provocado por las condiciones ambientales típicas de una estructura de contención, nuestro material de RCD mostrará un desgaste inferior al 40% de su estructura original cumpliendo así con la normativa vigente para agregados rocosos propios de estructuras de gaviones.

4.4. Resultados De Ensayo Solidez De Los Agregados Frente a La Acción De Sulfato De Sodio O De Magnesio. (INV E 220-13)

SOLUCIÓN EMPLEADA: Sulfato de magnesio.

Tabla 11. Examen cuantitativo- Agregado grueso y fino

AGREGADO GRUESO					
Tamaño Tamiz		Gradación de la muestra original (%)	Masa de las fracciones antes del ensayo (g)	(% Porcentaje que pasa el tamiz después del ensayo	Pérdida en porcentaje ponderada
Pasa	Retenido				
4"	3 1/2"	-	-	-	-
3 1/2"	3"	-	-	-	-
3"	2 1/2"				
2 1/2"	2"				
2"	1 1/2"	66,2	5325	5,0	3,3
1 1/2"	1"				
1"	3/4"	17,8	1436	1,0	0,2
3/4"	1/2"				
1/2"	3/8"	12,3	988	4,0	0,5
3/8"	No 4	3 , 7	300	5,0	0,2
TOTALES		100,0	-	-	4,2
AGREGADO FINO					
Tamaño Tamiz		Gradación de la muestra original (%)	Masa de las fracciones antes del ensayo (g)	(% Porcentaje que pasa el tamiz después del ensayo	Perdida en porcentaje ponderada
Pasa	Retenido				
3/8"	No 4	-	-	-	-
No 4	No 8	-	-	-	-

No 8	No 16	-	-	-	-
No 16	No 30	-	-	-	-
No 30	No 50	-	-	-	-
No 50	No. 100	-	-	-	-
Menor a No. 100		-	-	-	-
TOTALES		0,0	-	-	0,0

Fuente: Elaboración propia

Tabla 12. Examen Cualitativo

EXAMEN CUALITATIVO								
Tamaño Tamiz		NO. DE partículas antes del	NO. DE partículas en buen estado	NO. DE partículas agrietadas	NO. DE partículas partidas	NO. DE partículas vueltas lajas	DE partículas desintegradas	DE partículas escamosas
Pasa	Retenido							
4"	3 1/2"	-	-	-	-	-	-	-
3 1/2"	3"	-	-	-	-	-	-	-
3"	2 1/2"	-	-	-	-	-	-	-
2 1/2"	1 1/2"	28	25	-	-	-	-	20
1 1/2"	3/4"	59	44	-	-	-	-	35

Fuente: Elaboración propia

Asimismo, a través del ensayo de solidez frente a la acción de una solución de magnesio, hemos recopilado información valiosa que nos permite evaluar la resistencia de los especímenes de origen pétreo ante los agentes atmosféricos en condiciones de servicio reales dentro de las canastillas que conforman un gavión. Los resultados de este ensayo indican un porcentaje de pérdida del 4.2%, cifra que se encuentra por debajo del límite máximo establecido por la normativa.

4.5. Método de prueba estándar para Resistencia a la compresión y módulos de elasticidad de avería de muestras de roca de núcleo bajo diferentes estados de estrés y temperaturas. ASTM-D-7012.



Ilustración 9. Núcleo de concreto, Elaboración propia

Tabla 13. Resultado de ensayo de compresión simple

ITEM	RESULTADO
Diámetro, d (cm)	7.21
Altura, h (cm)	15.43
Relación h/d	2.14
Masa, m ($\pm 0,1$ g)	1366
Area (cm ²)	40.83
Volumen (cm ³)	630
Tipo de muestra	Cilíndrica
Qu (Kg/cm²)	388.13
Qu (MPa)	38.06
50% de Qu (Kg/cm ²)	194.07
Deformación Unitaria (mm)	0.0022
Módulo de Young kg/cm ²	87769.07
Módulo de Young (Mpa)	8607.2

Fuente: Elaboración propia

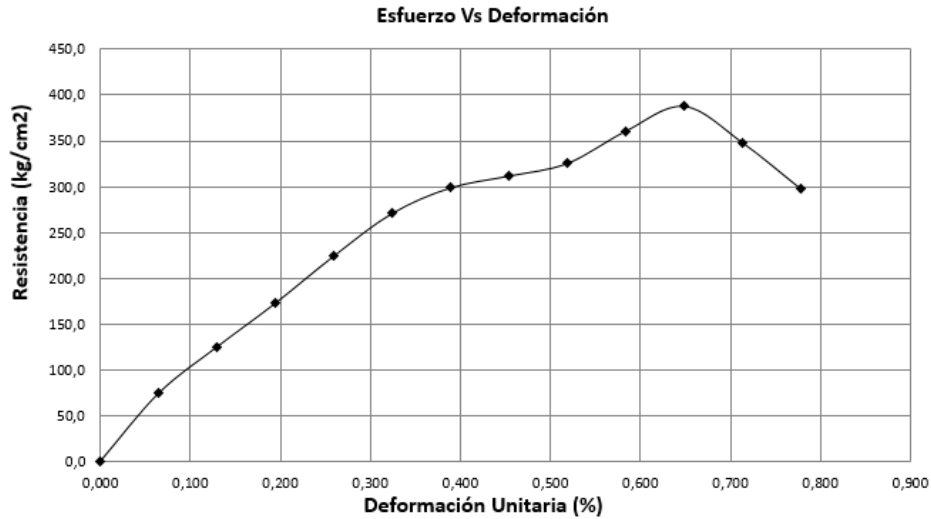


Ilustración 10. módulo elástico esfuerzo vs. Deformación, Elaboración propia

En cuanto a la determinación de la resistencia a la compresión de los especímenes cilíndricos de concreto, se obtuvo un resultado promedio de 24 MPa. Al comparar este resultado con los esfuerzos promedios obtenidos a través de ensayos técnicos de resistencia a la compresión simple de las rocas, podemos observar que este parámetro es fundamental para definir los criterios de rotura y el comportamiento geomecánico de un macizo rocoso. Para llevar a cabo un análisis comparativo de la equivalencia de resultados entre concreto y especímenes rocosos, se realizó la extracción de un núcleo de concreto de un espécimen cilíndrico. Este núcleo fue sometido a un ensayo de compresión simple, obteniendo un resultado de 38.6 MPa. Los resultados de las pruebas son presentados en la Tabla 7, la cual recoge los datos reportados por el laboratorio.

Tabla 14. clasificación de la roca según ASTM D 7012-C

DESCRIPCIÓN	Resistencia A La Compresión (MPa)
Extremadamente Blanda	< 1
Muy Blanda	1-5
Blanda	5-25
Moderadamente Blanda	25-50
Dura	50-100
Muy dura	100-250
Extremadamente Dura	>250

Fuente: ASTM D 7012-C

En la Tabla 8, se presenta la clasificación de la roca en función de su resistencia a la compresión, de acuerdo con la norma ASTM D 7012-C. Por lo anterior, podemos analizar el comportamiento mecánico de los especímenes con una resistencia equivalente a la de rocas de composición **moderadamente blanda**. Es importante destacar que, en la selección de material RCD, podemos diferenciar aquellos especímenes que presentan resistencias superiores a 25 MPa (3500 psi), lo que se evidencia por su clasificación en la tipología de falla número 5 ó 6, caracterizada por un fisuramiento mínimo en los bordes y sin afectaciones significativas en la integridad del material. Estos especímenes son aptos para ser utilizados en la conformación de la parte inferior de la estructura, la cual será la de mayor dimensión y la que soportará la mayor parte de la presión ejercida por el empuje de tierras y el peso propio de la estructura.

4.6. Ensayo Resistencia A La Compresión De Cilindros De Concreto NTC 673:2021

En la Tabla 16, presentamos los resultados de carga máxima obtenidos en el laboratorio a partir de especímenes seleccionados, con el fin de llevar un seguimiento estadístico de los resultados. Esto nos permitió observar que varios de ellos superan los 21 MPa, cumpliendo así con el criterio de aceptación establecido para la resistencia esperada.

Tabla 15. Resultados de carga máxima

ESPÉCIMEN SELECCIONADO	RESULTADO OBTENIDO EN EL ENSAYO
	 <p>KN - 0395.29 Mpa - 0021.36</p>
	 <p>KN - 0435.67 Mpa - 0023.54</p>
	 <p>KN - 0404.03 Mpa - 0021.63</p>

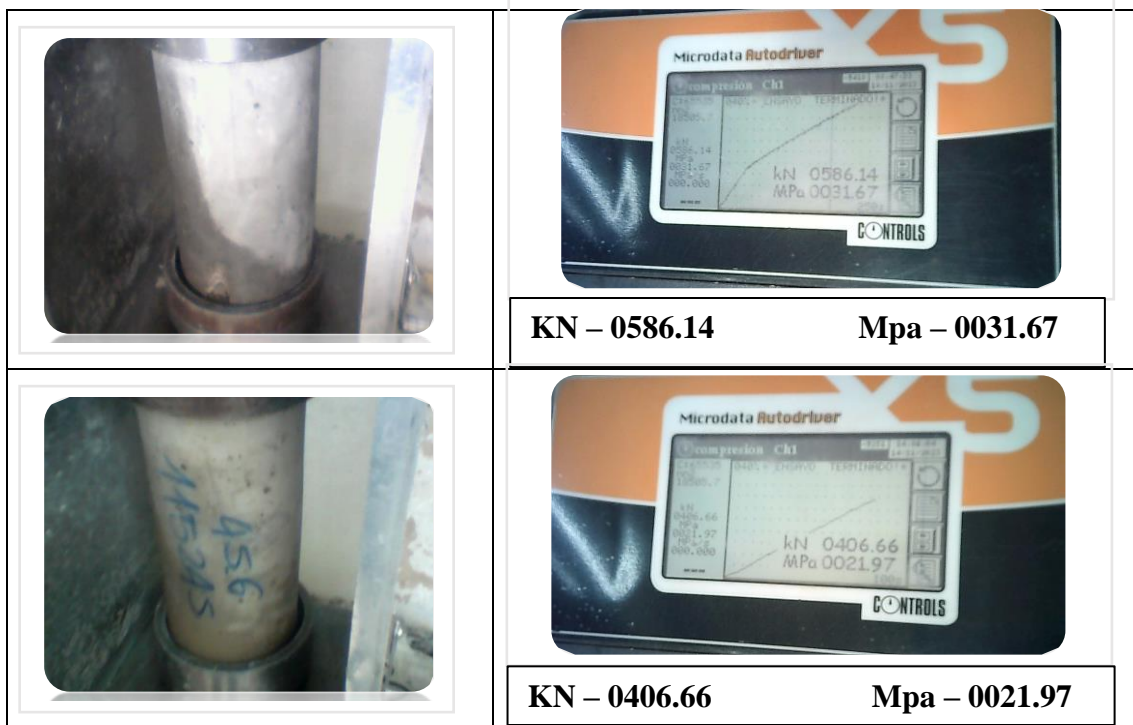


Ilustración 11. Especimen seleccionado/resultado obtenido

Fuente: Elaboración propia

Tabla 16. promedio de datos obtenidos en el ensayo de resistencia a la compresión

EDAD (días)	DIÁMETRO Ø (mm)	LONGITUD D (mm)	ÁREA TRANSVERSA L (mm ²)	CARGA MÁXIMA A (kN)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (MPa)	DENSIDAD D (kg/m ³)	PATRÓN DE FRACTURA	PROMEDIO RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (MPa)
56	154	307	18641	608.7	32.6	2127	4	32.6
56	153	304	18368	434	23.6	2367	3	23.6
56	152	297	18225	395.5	21.7	2222	3	21.7
56	151	278	18015	388.6	21.6	2381	2	21.6
56	152	301	18249	402.3	22	2285	3	22
56	153	300	18326	398.4	21.7	2341	2	21.7

Fuente: Elaboración propia

El ensayo de resistencia a la compresión presenta resultados positivos que respaldan la viabilidad de estos materiales como opciones óptimas para soportar los esfuerzos mecánicos asociados a estructuras de gravedad, como los gaviones.

4.6. Análisis Económico

En la sección final de nuestra investigación, buscamos evaluar el impacto económico que tendría la implementación de residuos de construcción y demolición (RCD) como reemplazo de los materiales granulares de relleno comúnmente utilizados. Para ello, en la tabla 17 se presenta una cotización por metro lineal de un proyecto realizado con fines comparativos, con el objetivo de establecer las diferencias en costos finales entre una estructura de gavión estándar y una construida con concreto elaborado a partir de RCD.

Tabla 17. Cotización por metro lineal de estructura tipo gavión con caliza.

DATOS ESPECÍFICOS							
ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD				
681,3	GAVIONES DE MALLA DE ALAMBRE DE ACERO ENTRELAZADO CLASE 3; RECUBRIMIENTO DE ZINC (GALVANIZADO) Y PVC	m ³					
I. EQUIPO							
CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	TIPO	TARIFA/HORA	RENDIMIENTO	Vr. UNITARIO		
					\$ -		
					\$ -		
	HERRAMIENTA MENOR (%)			5%	\$ 1.449,17		
SUBTOTAL \$					\$ 1.449,17		
II. MATERIALES							
CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	Vr. UNITARIO		
B0014710	Piedra para gaviones (entre 80mm y 200mm)	m3	1,100	\$ 54.795,96	\$ 60.275,56		
B0073220	Alambre galvanizado calibre 12	kg	1,150	\$ 15.000,00	\$ 17.250,00		
B021010	Formaleta para gaviones	m2	2,000	\$ 12.555,12	\$ 25.110,23		
B033006	Malla ciclónica para gaviones con zinc galvanizado y plastificada con PVC cal 12 (2M3)	unidad	0,500	\$ 243.597,19	\$ 121.798,59		
SUBTOTAL \$					\$ -		
SUBTOTAL \$					\$ 224.434,38		
III. TRANSPORTES							
CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD (1)	DISTANCIA (2)	(1) * (2)	TARIFA	Vr. UNITARIO
T0010094	Transporte de piedra para gaviones	m3-km	1,100	1,000	1,100	\$ 1.185,41	\$ 1.303,95
SUBTOTAL \$					\$ -		
SUBTOTAL \$					\$ 1.303,95		
IV. MANO DE OBRA							
CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	JORNAL	PRESTACIONES (%)	JR. TOTAL	RENDIMIENTO	Vr. UNITARIO	
A0030030	Obrero (3)	\$ 100.000,00	185	\$ 185.000,00	10,00	\$ 18.500,00	
A0040010	Oficial	\$ 56.666,67	185	\$ 104.833,33	10,00	\$ 10.483,33	
SUBTOTAL \$					\$ 28.983,33		
TOTAL COSTO DIRECTO \$					\$ 246.270,83		
V. COSTOS INDIRECTOS							
DESCRIPCIÓN			Porcentaje	Valor Total			
ADMINISTRACION			20%	\$ 49.254,17			
IMPREVISTOS			5%	\$ 12.313,54			
UTILIDAD			5%	\$ 12.313,54			
SUBTOTAL \$					\$ 73.881,25		
Precio Unitario Total Aproximado al Peso \$					\$ 330,052		

Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, en la Tabla 18 se presenta un presupuesto aproximado por tonelada para la estructura elaborada con material de RCD. Al igual que en la Tabla 17, hemos incluido los mismos ítems de análisis para ofrecer una visión más clara de los precios unitarios que corresponden a un proyecto de gaviones.

Tabla 18. Cotización por metro lineal de estructura tipo gavión con RCD.

DATOS ESPECÍFICOS							
ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD				
681,3	GAVIONES DE MALLA DE ALAMBRE DE ACERO ENTRELAZADO CLASE 3; RECUBRIMIENTO DE ZINC (GALVANIZADO) Y PVC	m ³					
I. EQUIPO							
CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	TIPO	TARIFA/HORA	RENDIMIENTO	Vr. UNITARIO		
					\$ -		
					\$ -		
	HERRAMIENTA MENOR (%)			5%	\$ 1.449,17		
SUBTOTAL \$					\$ 1.449,17		
II. MATERIALES							
CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	Vr. UNITARIO		
B0014710	Cilindros tipo RCD (entre 150mm x 200mm)	m3	1,100	\$ 0,00	\$ 0,00		
B0073220	Alambre galvanizado calibre 12	kg	1,150	\$ 15.000,00	\$ 17.250,00		
B021010	Formaleta para gaviones	m2	2,000	\$ 12.555,12	\$ 25.110,23		
B033006	Malla ciclónica para gaviones con zinc galvanizado y plastificada con PVC cal 12 (2M3)	unidad	0,500	\$ 243.597,19	\$ 121.798,59		
SUBTOTAL \$					\$ -		
SUBTOTAL \$					\$ 164.158,82		
III. TRANSPORTES							
CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD (1)	DISTANCIA (2)	(1) * (2)	TARIFA	Vr. UNITARIO
T0010094	Transporte de RCD para gaviones	m3-km	1,100	1,000	1,100	\$ 1.185,41	\$ 1.303,95
SUBTOTAL \$							\$ -
SUBTOTAL \$							\$ 1.303,95
IV. MANO DE OBRA							
CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	JORNAL	PRESTACIONES (%)	JR. TOTAL	RENDIMIENTO	Vr. UNITARIO	
A0030030	Obrero (3)	\$ 100.000,00	185	\$ 185.000,00	10,00	\$ 18.500,00	
A0040010	Oficial	\$ 56.666,67	185	\$ 104.833,33	10,00	\$ 10.483,33	
SUBTOTAL \$							\$ 28.983,33
TOTAL COSTO DIRECTO \$							\$ 246.270,83
V. COSTOS INDIRECTOS							
DESCRIPCIÓN			Porcentaje	Valor Total			
ADMINISTRACION			20%	\$ 49.254,17			
IMPREVISTOS			5%	\$ 12.313,54			
UTILIDAD			5%	\$ 12.313,54			
SUBTOTAL \$							\$ 73.881,25
Precio Unitario Total Aproximado al Peso \$							\$ 269.777

Fuente: Elaboración propia

Según los presupuestos presentados, el costo por tonelada de la estructura utilizando roca caliza es de \$330.052.00 (treientos treinta mil cincuenta y dos pesos) y para la misma estructura empleando RCD obtenemos un total por tonelada de \$269.777.00 (doscientos

sesenta y nueve mil setecientos setenta y siete pesos). Esto representa una diferencia del 18%, lo que hace que la implementación de material RCD sea más rentable desde el punto de vista económico para una estructura de gaviones. Además, es relevante señalar que, en nuestro caso de estudio, la materia prima se compone de cilindros de concreto generados durante el proceso de laboratorio de suelos, los cuales no tienen un costo comercial asociado para su adquisición.

Es importante destacar que, en el caso del laboratorio López Hermanos SAS, según su programa de gestión de residuos, contratan a la empresa municipal de recolección de residuos sólidos para la evacuación de RCD, que serán utilizados como material de relleno para el parque ambiental del municipio. Esto implica un costo fijo que se asigna al presupuesto de mantenimiento de las instalaciones. El aprovechamiento de estos residuos genera beneficios para todas las partes involucradas: por un lado, se obtiene el material de relleno para los gaviones, disponible para su recolección según los plazos requeridos; por otro lado, el laboratorio asegura una disposición final adecuada de sus materiales de desecho y aminora los gastos fijos asociados.

Para implementar los cilindros de concreto tipo RCD como material de relleno en los gaviones, se recomienda realizar un alistamiento previo de los especímenes antes de proceder al ensamblaje de las canastas. Este proceso implica seleccionar los cilindros según sus tamaños y diámetros, y luego definir longitudes que se adapten correctamente a las dimensiones de la canasta de acero. Es crucial apilar los cilindros de manera que se minimice la incorporación de vacíos en la estructura final. Para facilitar este proceso, se pueden utilizar herramientas mecánicas, como sierras, que permiten realizar cortes rectos y proporcionar una geometría adecuada a los cilindros, lo que ayuda al operario en el trabajo de llenado.

De acuerdo con los resultados de laboratorio obtenidos de los ensayos mecánicos realizados en los especímenes de concreto analizados, se determina que la densidad promedio del RCD es de 2282 kg/m³. Este valor se encuentra dentro del rango típico de densidad para la caliza, que varía entre 2200 kg/m³ y 2600 kg/m³. Estas cifras sugieren una similitud en la capacidad portante de ambos materiales, dado que presentan un peso unitario comparable por unidad cuadrada. Esto implica que el RCD aporta una carga similar al suelo subyacente, lo que asegura un comportamiento mecánico análogo y contribuye a la estabilidad de la estructura, gracias a su propio peso.

5. CONCLUSIONES

- La investigación mediante ensayos mecánicos de resistencia (INV_E-410 y ASTM-D-7012 con resultados superiores al requerimiento) se demostró que los residuos de construcción y demolición (RCD) son viables para la elaboración de gaviones, cumpliendo con los requisitos de resistencia mecánica, durabilidad y desempeño normativo. Los ensayos realizados evidenciaron que los RCD tienen propiedades mecánicas similares o superiores a los materiales tradicionales, lo que los hace adecuados para su uso en la estabilización de taludes. Además, se encontró que los RCD pueden soportar cargas y tensiones significativas sin sufrir daños estructurales, lo que garantiza su estabilidad y seguridad.
- El uso de concreto tipo RCD en gaviones reduce significativamente el impacto ambiental negativo asociado a los métodos tradicionales de estabilización y promueve la sostenibilidad en la construcción de infraestructuras. La reutilización de materiales reciclados reduce la necesidad de extracción y procesamiento de recursos naturales, así como la contaminación del medio ambiente por el proceso de extracción de Caliza. Además, el uso de RCD puede reducir costos de operación y minimizar el impacto ambiental, lo que lo hace una opción más eficiente y sostenible.
- La identificación de especímenes de RCD con resistencias equivalentes a rocas de alta dureza permite optimizar el diseño y asegurar que las estructuras soporten efectivamente las cargas y tensiones. Es crucial seleccionar materiales adecuados para la parte inferior de los gaviones, considerando factores como la resistencia

mecánica, la durabilidad y la estabilidad. La investigación sugiere que la selección de RCD con propiedades específicas puede mejorar significativamente la eficiencia y seguridad de las estructuras, reduciendo el riesgo de fallas y daños.

- La investigación sugiere la implementación de guías prácticas y normativas específicas para regular el uso de RCD en proyectos de infraestructura. Esto promoverá la innovación y la sostenibilidad en la construcción, y contribuirá a la generación de conocimiento y capacidad técnica en el sector. La creación de normativas claras y estándares de calidad para el uso de RCD garantizará la seguridad y eficiencia de las estructuras, y fomentará la adopción de prácticas sostenibles en la industria de la construcción.

5.1. RECOMENDACIONES

- Investigar y proponer normativas concretas que regulen el uso de RCD en la construcción de gaviones. Incluir estándares específicos para la selección, manejo y reciclaje de estos materiales, promoviendo su aceptación en el sector.
- Realizar estudios a largo plazo sobre el comportamiento de los gaviones construidos con concreto tipo RCD en distintas condiciones climáticas y ambientales. Evaluar su durabilidad y resistencia bajo condiciones reales de uso.
- Llevar a cabo un análisis más exhaustivo de costo-beneficio que considere no solo los costos iniciales de implementación, sino también los ahorros a largo plazo en mantenimiento y la reducción de impacto ambiental.
- Realizar una investigación comparativa de la implementación de RCD en la estabilización de taludes en diferentes países, identificando las mejores prácticas y lecciones aprendidas que podrían aplicarse localmente.
- Es recomendable explorar el potencial de otros materiales RCD, como redes de mampostería, acero, PVC y otros, en la construcción de gaviones y estructuras. Esto puede incluir la investigación de sus propiedades mecánicas, durabilidad y viabilidad económica, con el fin de ampliar las opciones sostenibles para la industria de la construcción.

- Desarrollar estudios que midan el impacto ambiental del uso de concreto tipo RCD en comparación con los métodos tradicionales de estabilización, utilizando indicadores ambientales y de sostenibilidad.
- Investigar la efectividad de programas de capacitación para ingenieros y trabajadores de la construcción sobre el uso de RCD y concreto reciclado, promoviendo su uso y aceptación en proyectos de infraestructura.
- Implementar estudios piloto en obras reales que utilicen gaviones con RCD, para monitorear la ejecución, el comportamiento estructural y el impacto ambiental, proporcionando datos empíricos que respalden futuras normativas y guías.
- Explorar la posibilidad de combinar RCD con otros materiales reciclados u orgánicos para mejorar sus propiedades mecánicas y sus aplicaciones en la construcción.
- Es fundamental incentivar la adopción de prácticas sostenibles en la construcción a través de políticas públicas y regulaciones que fomenten la reutilización y reciclaje de materiales, reduzcan la emisión de gases de efecto invernadero y minimicen la contaminación del medio ambiente.
- Desarrollar prototipos de estructuras de contención utilizando RCD y realizar una validación experimental para comprobar su eficacia y seguridad en situaciones reales.

5.2. BIBLIOGRAFÍA


- 07, A. 6. (s.f.). GAVIONES. *Instituto Nacional de Vías*, 6.
- Andrés Felipe Hernández Ramírez, E. A. (2020). *PROPUESTA PARA LA REUTILIZACIÓN DE RESIDUOS Y ESCOMBROS PROVENIENTES DE LOS LABORATORIOS DE CONCRETO EN VILLAVICENCIO*. villavicencio: UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS.
- Chancolla, W. T. (2021). *mplementación de gaviones para optimizar la estabilidad de taludes, aplicando el Software Geo5, del puente Fortaleza en el distrito de Madrigal, provincia de Caylloma, Arequipa 2021*. Arequipa caylloma: Creative Commons Atribución 4.0 Internacional.
- E.*, G., P.**., Ñ., & F.***, M. (xx de julio de 2018). Aprovechamiento de los residuos provenientes de cilindros y vigas de hormigon utilizados en el laboratorio de ensayo de materiales de la facultad de ingenieria, ciencias fisicas y matematica de la universidad central del ecuador. quito, quito, ecuador.
- GONZÁLEZ, .: J. (mayo 2020). *Plan de manejo integral para el aprovechamiento de Residuos del Concreto provenientes de construcciones, laboratorios y demoliciones en el Área Metropolitana de Guadalajara*. Tlaquepaque, Jalisco.: Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente.
- LIZARAZO, .: I. (2015). *VENTAJAS Y USOS DEL CONCRETO RECICLADO*. UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA: PROGRAMA DE ESPECIALIZACION EN INGENIERIA DE PAVIMENTOS.
- LUYO ARCE, J. L. (2020). “*PROPUESTA DE UN PLAN DE MANEJO DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN (RCD) PARA UN MEJOR REAPROVECHAMIENTO EN LA EMPRESA CAJAS ECOLÓGICAS S.A.C.*”. Villa El Salvador: UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA DE LIMA SUR.
- Ministerio de Hacienda y Crédito Público, M. d. (Noviembre 2021). *ANEXO 4: PLAN DE GESTIÓN DE RESIDUOS PARA OBRAS CIVILES*. COLOMBIA: EVALUACIÓN SOCIAL Y AMBIENTAL (ESA) Y MARCO DE GESTIÓN.
- OCLASSEN, M. C.-A. (2020). *DETERMINACIÓN DE LA VIABILIDAD TÉCNICA USO DEL CONCRETO TIPO RCD ESTRUCTURAS DE ESTABILIZACIÓN DE TALUDES* . ESTRUCTURAS DE ESTABILIZACIÓN DE TALUDES : UNIVERSIDAD DE CARTAGENA.
- Solarte, J. S.-A. (2022). *Viabilidad Técnica De Vivienda Campesina Con Muros De Gaviones En Los Llanos Orientales De Colombia*. Llanos Orientales De Colombia: RIINN.

- Suarez, I. A. (2023). *Análisis de estabilidad y aporte al diseño de obras de mitigación mediante la estabilización de un talud en el Barrio José Antonio Galán en el Municipio de San Gil Santander, mediante el uso del Software SLIDE*. Bucaramanga: Universidad Santo Tomás-División de Ingenierías y Arquitectura.
- Trujillo, R. E. (2017). *Gaviones*. Aceros Metales y Mallas Ltda: Departamento de Diseño, Investigación e Innovación (DRIM).
- Vergara Flores, R. A. (2018). *Estabilización de talud por tres Métodos: Gaviones, Geomalla y Muro de Contención*. Chimbote – Perú: UNIVERSIDAD SAN PEDRO.

CAPÍTULO 6. ANEXOS

Dentro de los anexos presentamos los informes de laboratorio realizados a las muestras de RCD seleccionadas para la caracterización, asimismo, evidencias fotográficas de los procesos experimentales de los materiales y un informe de simulación de gavión con las características típicas de un suelo Arcillo Arenoso de la zona de estudio con material de relleno RCD y sus propiedades.

6.1. Anexo 1: informe de De Resultados De Ensayo Absorción

		INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO ABSORCION		
ZOFRE S.A.S CARRERA 28 A # 77 -00 BOGOTA D.C., COLOMBIA.				
Proceso: Gestión de Laboratorio	Fecha versión: 2022-04-13	Versión: 00	Código: GL-FT-0161	Informe N°: ZF-ABM-0007
REFERENCIA N°	2024-0845	FECHA DE INFORME:	2024-06-26	
CLIENTE/ENTIDAD CONTRATANTE:	MANUEL SALCEDO - ANDRÉS MENDEZ	DIRECCIÓN CLIENTE:	TUNJA- BOYACÁ	
OBRA/PROYECTO:	ANÁLISIS DE LA VIABILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA PARA EL USO DEL CONCRETO TIPO RCD EN LA CONFORMACIÓN DE ESTRUCTURAS DE ESTABILIZACIÓN DE TALUDES TIPO GAVIONES			
NORMA REFERENCIA DE ENSAYO:	INV_E_223-13	FECHA DE ENSAYO:	2024-06-24	
INFORMACIÓN SUMINISTRADA POR EL CLIENTE				
SOLICITANTE:	MANUEL SALCEDO - ANDRÉS MENDEZ	DIRECCIÓN SOLICITANTE:	TUNJA- BOYACÁ	
IDENTIFICACION/MUESTRA:	N/A	TIPO DE MUESTRA:	RCD	
PROCEDENCIA:	ZOFRE SAS	LOCALIZACION:	N/A	

INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO

FECHA DE RECEPCIÓN:		2024-06-20				
MUESTRA RECOGIDA POR:		CLIENTE				
MUESTRA	LARGO (mm)	ANCHO (mm)	ALTO (mm)	MASA SECA (g)	MASA SSS (g)	ABSORCIÓN (%)
1	302	151	154	10562,0	11008,0	4%
2	300	151	154	10550,0	10761,0	2%
3	301	151	152	10542,4	10647,8	1%
4	299	151	152	10398,4	10606,4	2%
5	285	151	151	10535,6	10593,5	1%
PROMEDIO ABSORCION (%)					2%	

DATOS DE LA BALANZA

CÓDIGO INTERNO	ZF-EQ-068
CAPACIDAD MÁXIMA (g)	30000,00
PRECISIÓN(g)	1,00
FECHA DE CALIBRACIÓN	2023-10-03
REFERENCIA	NT170355

OBSERVACIONES: No hay observaciones adicionales

REVISÓ Y APROBÓ




Coordinador de Laboratorio

Los resultados presentados corresponden únicamente a la muestra sometida al ensayo. El laboratorio no se hace responsable del proceso de muestreo. Este informe no puede ser reproducido en su totalidad ni parcialmente, sin la autorización escrita del laboratorio que lo emite. Este informe no es válido sin la firma original de quien reviso y aprobó, y el sello.
Zofre S.A.S es responsable de toda la información suministrada en el informe, excepto de la información suministrada por el cliente, estos datos son claramente identificados.
* FIN DEL INFORME *

Página 1 de 1

6.2. Anexo 2: Informe De Resultados De La Resistencia De La Degradación De Los Agregados Tamaños Mayores De 19 Mm (3/4") Por Medio De La Máquina De Los Ángeles.

		INFORME DE RESULTADOS DE LA RESISTENCIA DA LA DEGRADACION DE LOS AGREGADOS TAMAÑOS MAYORES DE 19 mm (3/4") POR MEDIO DE LA MAQUINA DE LOS ANGELES			
		ZOFRE S.A.S CRA 28 A # 77-00 BOGOTA D.C			
Proceso: Gestión de Laboratorio	Fecha versión: 2020-11-16	Versión: 00	Código: GL-FT-78	Informe N°: ZF-DAG-0007	
REFERENCIA N°	2024-0845	FECHA DE INFORME:	2024-08-24		
CLIENTE/ENTIDAD CONTRATANTE:	MANUEL SALCEDO - ANDRES MÉNDEZ	DIRECCION CLIENTE:	TUNJA-BOYACA		
OBRA/PROYECTO:	ANÁLISIS DE LA VIABILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA PARA EL USO DEL CONCRETO TIPO RCD EN LA CONFORMACIÓN DE ESTRUCTURAS DE ESTABILIZACIÓN DE TALUDES TIPO GAVIONES				
IDENTIFICACION/MUESTRA:	N/A	PROFUNDIDAD:	N/A		
PROCEDENCIA:	ZOFRE SAS	LOCALIZACION:	N/A		
NORMA REFERENCIA DE ENSAYO:	INV E 219 - 13	FECHA DE ENSAYO:	2024-06-21		

INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO

DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	Material tipo RDC
FECHA DE RECOGIDA	2024-0620

TIPO DE GRANULOMETRIA UTILIZADA	1
NUMERO DE ESFERAS	12
MASA DE LA MUESTRA SECA ANTES DEL ENSAYO, g (P ^o)	10011
MASA DE LA MUESTRA SECA DESPUES DEL ENSAYO, PREVIO LAVADO SOBRE TAMIZ (No.12), g 200 REVOLUCIONES	10011
MASA DE LA MUESTRA SECA DESPUES DEL ENSAYO, PREVIO LAVADO SOBRE TAMIZ (No.12), g 1000 REVOLUCIONES	6075
PERDIDA DEL AGREGADO, g	3936

NUMERO DE REVOLUCIONES	DESGASTE (%)
200 REVOLUCIONES	-
1000 REVOLUCIONES	39


INFORMACION SOBRE GRADACION, CARGA ABRASIVA Y REVOLUCIONES

TAMAÑOS DE TAMIZ	MUESTRA PARA EL ENSAYO (g)				
	PASA	RETIENE	1	2	3
75 mm (3")	63 mm (2½")	2500±50			
63 mm (2½")	50 mm (2")	2500±50			
50 mm (2")	37.5 mm (1½")	5000±50	5000±50		
37.5 mm (1½")	25 mm (1")		5000±25	5000±25	
25 mm (1")	19 mm (¾")			5000±25	
MASA ESPECIFICA		10000±100	10000±75	10000±50	
NUMERO DE ESFERAS		12	12	12	
NUMERO DE REVOLUCIONES		1000	1000	1000	

OBSERVACIONES:

El ensayo se realiza bajo la norma INV_E_219-13 metodo de gradacion 1, adecuando la muestra por triturado,

REVISÓ Y APROBÓ



 Coordinador de Laboratorio

Los resultados presentados corresponden únicamente a la muestra sometida al ensayo. El laboratorio no se hace responsable del proceso de muestreo. Este informe no puede ser reproducido en su totalidad ni parcialmente, sin la autorización escrita del laboratorio que lo emite. Este informe no es válido sin la firma original de quien revisó y aprobó, y el sello.

* FIN DEL INFORME *

Página 1 de 1

6.3. Anexo 3: Informe De Resultados De Ensayo Solidez De Los Agregados Frente A La Acción De Sulfato De Sodio O De Magnesio.



INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO SOLIDEZ DE LOS AGREGADOS FRENTE A LA ACCION DE SULFATO DE SODIO O DE MAGNESIO

ZOFRE S.A.S CRA. 28 A # 77 - 00 BOGOTA D.C.				
Proceso: Gestión de Laboratorio	Fecha versión: 2020-11-18	Versión: 00	Código: GL-FT-112	Informe N°: ZF-SA-0007
REFERENCIA N°	2024-0845		FECHA DE INFORME:	2024-06-26
CLIENTE/ENTIDAD CONTRATANTE:	MANUEL SALCEDO - ANDRES MÉNDEZ		DIRECCION CLIENTE:	TUNJA - BOYACÁ
OBRA/PROYECTO:	ANÁLISIS DE LA VIABILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA PARA EL USO DEL CONCRETO TIPO RCD EN LA CONFORMACION DE ESTRUCTURAS DE ESTABILIZACIÓN DE TALUDES TIPO GAVIONES			
IDENTIFICACION/MUESTRA:	N/A		PROFUNDIDAD:	N/A
PROCEDENCIA:	ZOFRE SAS		LOCALIZACION:	N/A
NORMA REFERENCIA DE ENSAYO:	INV E 220-13		FECHA DE ENSAYO:	2024-06-24

SOLUCIÓN EMPLEADA		SULFATO DE MAGNESIO						
EXAMEN CUANTITATIVO								
AGREGADO GRUESO								
Tamaño Tamiz		Gradacion de la muestra original (%)	Masa de las fracciones antes del ensayo (g)	(% Porcentaje que pasa el tamiz despues del ensayo	Perdida en porcentaje ponderada			
Pasa	Retenido							
4"	3 1/2"	-	-	-	-			
3 1/2"	3"	-	-	-	-			
3"	2 1/2"	-	-	-	-			
2 1/2"	2"	66,2	5325	5,0	3,3			
2"	1 1/2"	-	-	-	-			
1 1/2"	1"	17,8	1436	1,0	0,2			
1"	3/4"	-	-	-	-			
3/4"	1/2"	12,3	988	4,0	0,5			
1/2"	3/8"	-	-	-	-			
3/8"	No 4	3,7	300	5,0	0,2			
TOTALES		100,0	-	-	4,2			
AGREGADO FINO								
Tamaño Tamiz		Gradacion de la muestra original (%)	Masa de las fracciones antes del ensayo (g)	(% Porcentaje que pasa el tamiz despues del ensayo	Perdida en porcentaje ponderada			
Pasa	Retenido							
3/8"	No 4	-	-	-	-			
No 4	No 8	-	-	-	-			
No 8	No 16	-	-	-	-			
No 16	No 30	-	-	-	-			
No 30	No 50	-	-	-	-			
No 50	No. 100	-	-	-	-			
Menor a No. 100		-	-	-	-			
TOTALES		0,0	-	-	0,0			
EXAMEN CUALITATIVO								
Tamaño Tamiz		No. De partículas antes del	No. De partículas en buen estado	No. De partículas agrietadas	No. De partículas partidas	No. De partículas vueltas lajas	No. De partículas desintegradas	No. De partículas escamosas
Pasa	Retenido							
4"	3 1/2"	-	-	-	-	-	-	-
3 1/2"	3"	-	-	-	-	-	-	-
3"	2 1/2"	-	-	-	-	-	-	-
2 1/2"	1 1/2"	28	25	-	-	-	-	20
1 1/2"	3/4"	59	44	-	-	-	-	35

OBSERVACIONES:

REVISÓ Y APROBÓ

Coordinador de Laboratorio

Los resultados presentados corresponden únicamente a la muestra sometida al ensayo. El laboratorio no se hace responsable del proceso de muestreo. Este informe no puede ser reproducido en su totalidad ni parcialmente, sin la autorización escrita del laboratorio que lo emite. Este informe no es válido sin la firma original de quien reviso y aprobó, y el sello.

* FIN DEL INFORME *

Página 1 de 1

6.4. Anexo 4: Informe De Resultados De Ensayo Resistencia A La Compresion De Cilindros De Concreto.



INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO RESISTENCIA A LA COMPRESION DE CILINDROS DE CONCRETO

Proceso: Gestión de Laboratorio		Fecha versión: 2023-12-14		Versión: 05		Código: GL-FT-142		Informe N° ZF-RCC-0007				
REFERENCIA N°	2024-0845	CLIENTE/ENTIDAD CONTRATANTE:	MANUEL SALCEDO - ANDRES MENDES		DIRECCION DEL CLIENTE:	TUNJA - BOYACA		2024-06-25				
NORMA DE ENSAYO:	NTC 673-2021	OBRA/PROYECTO:	TRABAJO DE GRADO		FECHA DE INFORME:							
SOLICITANTE:		INFORMACION SUMINISTRADA POR EL CLIENTE										
REFERENCIA DE LA MEZCLA:	MANUEL SALCEDO - ANDRES MENDES	DIRECCION DEL SOLICITANTE:	TUNJA - BOYACA		FABRICANTE / PLANTA MEZCLA CONCRETO:	N/A		N/A				
RESISTENCIA DE DISEÑO MEZCLA CONCRETO (MPa):	R0C	NUMERO SERIE DOCUMENTO DESPACHO /HORA DE FUNDIDA:	N/A		ASENTAMIENTO MEZCLA (mm):	N/A		N/A				
	N/A	ELEMENTO FUNDIDO:	N/A		FECHA DE ELABORACION ESPECIMENES:	2024-04-29						
INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO												
FECHA DE ENSAYO	EDAD RECEPCION	DIAMETRO (mm)	LONGITUD (mm)	AREA TRANSVERSAL (mm²)	CARGA MAXIMA (kN)	RESISTENCIA A LA COMPRESION (MPa)	DEFECTOS	DENSIDAD (kg/m³)	PATRÓN DE FRACTURA	PROMEDIO RESISTENCIA A LA COMPRESION (MPa)	PORCENTAJE ALCANZADO (%)	OBSERVACIONES
2024-06-24	2024-05-02	154	309	18729	638,7	34	SI	2101	Tipo 4	32,6	-	Especímenes con defectos de falla iniciales Tipo 5
		154	306	18639	599,6	31,6	SI	2121	Tipo 4			
		154	306	18654	599,7	32,3	SI	2169	Tipo 4			
2024-06-24	2024-05-02	153	303	18292	435,6	23,8	SI	2465	Tipo 3	23,6	-	Especímenes con defectos de falla iniciales Tipo 5
		153	305	18379	444,8	24,2	SI	2316	Tipo 4			
		153	303	18433	421,7	22,9	SI	2320	Tipo 3			
2024-06-24	2024-05-02	152	296	18200	396,2	21,8	SI	2226	Tipo 4	21,7	-	Especímenes contados para adecuar el contacto del pistón
		152	296	18122	395,0	21,8	SI	2233	Tipo 3			
		153	299	18322	393,2	21,5	SI	2208	Tipo 3			
		152	277	18170	395,3	21,2	SI	2385	Tipo 2			
2024-06-24	2024-05-02	151	280	17955	391,6	21,8	SI	2359	Tipo 2	21,6	-	Especímenes contados para adecuar el contacto del pistón
		151	276	17900	388,8	21,7	SI	2400	Tipo 2			
		152	301	18253	401,3	22,0	SI	2310	Tipo 3			
2024-06-24	2024-05-02	153	301	18325	396,6	21,8	SI	2298	Tipo 3	22,0	-	Especímenes con defectos de falla iniciales Tipo 5
		152	302	18170	405,9	22,3	SI	2248	Tipo 4			
		152	299	18200	395,8	21,8	SI	2346	Tipo 2			
2024-06-24	2024-05-02	152	301	18194	400,9	22,0	SI	2354	Tipo 2	21,7	-	Especímenes con defectos de falla iniciales Tipo 5
		154	299	18554	397,6	21,4	SI	2322	Tipo 3			
INFORMACION SUMINISTRADA POR EL CLIENTE												
INCERTIDUMBRE EN LABORATORIO (MPa)	0,11	ESPECIFICACION	RESISTENCIA DE DISEÑO MEZCLA CONCRETO		REQUISO ESPECIFICACION MINIMO (MPa)	N/A		DECLARACION DE CUMPLIMIENTO	SI			


Nota:
 1. Los resultados de los ensayos y la declaración de cumplimiento con la especificación en este informe se refieren solamente a la muestra de ensayo la cual se ha usado la muestra de ensayo.
REGLA DE DECISION:
 a) Si el resultado de la muestra excede el nivel de aceptación, entonces se puede declarar el cumplimiento con la especificación indicada que el resultado de muestra está dentro del nivel de aceptación cuando se tiene en cuenta el incremento de media.
 b) Si el resultado de la muestra no excede el nivel de aceptación, entonces se puede declarar el no cumplimiento con la especificación indicada que el resultado de muestra está fuera del nivel de aceptación cuando se tiene en cuenta el incremento de media.
 c) Si el resultado de la muestra no excede el nivel de aceptación con una probabilidad de cobertura de 95% en tipo de muestra no es posible declarar el cumplimiento con la especificación.
 d) Este informe es válido por un periodo de 90 días calendario a partir de la fecha de emisión del informe.
 e) Este informe es válido para un máximo de 1000 kg/m³ de concreto con un nivel de confianza del 95%.
 f) Los especímenes de concreto deben prepararse a una temperatura de 20°C ± 2°C.

REVISO Y APROBO

 Coordinador de Laboratorio

Los resultados emitidos corresponden únicamente a la muestra como se recibió y se sometió a ensayo. El laboratorio no se hace responsable por el proceso de muestra. Este informe no puede ser reproducido en su totalidad ni parcialmente, sin la autorización escrita del laboratorio que lo emite.
 Este informe es emitido de acuerdo con las condiciones de acreditación otorgadas por el Organismo Nacional de Acreditación Colombiana ONAC, vigente a la fecha, con código de acreditación 21-LAB-018 bajo la norma ISO/IEC 17025:2017.
 Zofre SAS es responsable de toda la información suministrada por el cliente y que pueda afectar a la validez de los resultados, estos datos son claramente identificados.

6.5. Anexo 5 : Informe De Resultado De Ensayo Determinación De La Resistencia A La Compresión Simple En Roca. (ASTM-D 7012-10 Método C).

 INFORME DE RESULTADO DE ENSAYO DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE EN ROCA			
ZOFRE S.A.S. CRA. 28 A # 77-00 BOGOTÁ D.C.			
Proceso: Gestión de Laboratorio	Fecha versión: 2021-07-27	Versión: 01	Código: GL-FT-27 Informe N°: ZF-CR-0157
REFERENCIA N°	2024-0847	FECHA DE INFORME:	2024-06-25
CLIENTE/ENTIDAD CONTRATANTE:	MANUEL SALCEDO - ANDRES MÉNDES	DIRECCIÓN CLIENTE:	TUNJA - BOYACÁ
OBRA/PROYECTO:	ANÁLISIS DE LA VIABILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA PARA EL USO DEL CONCRETO TIPO RCD EN LA CONFORMACIÓN DE ESTRUCTURAS DE ESTABILIZACIÓN DE TALUDES TIPO GAVIONES		
NORMA REFERENCIA DE ENSAYO:	ASTM-D 7012-10 Metodo C	FECHA DE ENSAYO:	2024-06-24
INFORMACIÓN SUMINISTRADA POR EL CLIENTE			
SOLICITANTE:	MANUEL SALCEDO - ANDRES MÉNDES	DIRECCIÓN SOLICITANTE:	TUNJA - BOYACÁ
IDENTIFICACION/MUESTRA:	NÚCLEO	PROFUNDIDAD:	N/A
PROCEDENCIA:	N/A	LOCALIZACIÓN:	N/A

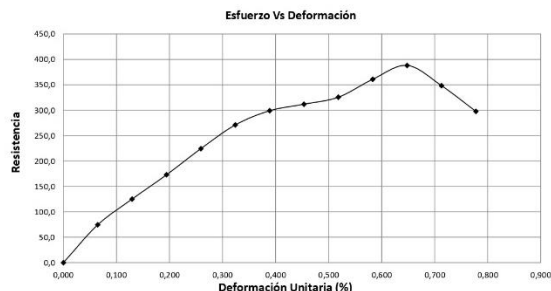
INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO

DESCRIPCIÓN PROBETA	
DIAMETRO, d (cm)	7.21
ALTURA, h (cm)	15.43
RELACION h/d	2.14
MASA, m (± 0,1 g)	1366
AREA, (cm ²)	40.83
VOLUMEN (cm ³)	630.0
TIPO DE MUESTRA	CILINDRICA

Lectura carga (kN)	Carga (kg)	Lectura Deformación [mm]	Deformación Unitaria %	1- Deformación Unitaria	Area Corregida (cm ²)	Resistencia kg/cm ²
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
29.86	3044.82	0.10	0.06	1.00	40.85	74.53
50.18	5116.85	0.20	0.13	1.00	40.88	125.16
69.36	7072.64	0.30	0.19	1.00	40.91	172.89
90.05	9182.40	0.40	0.26	1.00	40.93	224.32
108.86	11100.45	0.50	0.32	1.00	40.96	271.00
120.15	12251.70	0.60	0.39	1.00	40.99	298.91
125.42	12789.08	0.70	0.45	1.00	41.01	311.82
131.06	13364.19	0.80	0.52	0.99	41.04	325.63
145.35	14821.34	0.90	0.58	0.99	41.07	360.90
156.42	15850.15	1.00	0.65	0.99	41.09	388.13
140.46	14322.71	1.10	0.71	0.99	41.12	348.30
120.15	12251.70	1.20	0.78	0.99	41.15	297.74
0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	40.83	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	40.83	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	40.83	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	40.83	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	40.83	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	40.83	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	40.83	0.00


EXPRESIÓN DE LOS RESULTADOS

Calculo de Módulo Young	
Qu (Kg/cm ²)	388,13
Qu (MPa)	38,06
50% de Qu (Kg/cm ²)	194,07
Deformación Unitaria (mm)	0,0022
Módulo de Young kg/cm ²	87769,07
Módulo de Young (Mpa)	8607,2



OBSERVACIONES:

REVISÓ Y APROBÓ


Coordinador de Laboratorio

Los resultados presentados corresponden únicamente a la muestra sometida al ensayo. El laboratorio no se hace responsable del proceso de muestreo. Este informe no puede ser reproducido en su totalidad ni parcialmente, sin la autorización escrita del laboratorio que lo emite. Este informe no es válido sin la firma original de quien revisó y aprobó, y el sello.

* FIN DEL INFORME *

Página 1 de 1

6.6. Anexo 6: Informe simulación para el análisis teórico de un gavión con RCD (Geo5).

Manuel Salcedo - Andres Mendez

Análisis de gavión

Entrada de datos

Proyecto

Descripción : Ejercicio teorico-Gavion RCD
 Cliente : Fundacion Universitaria Juan de Castellanos
 Autor : Manuel Salcedo - Andres Mendez
 Fecha : 3/09/2024
 ID del proyecto : Gavion RCD
 Número de proyecto : 1

Configuración

Estándar - Factor de seguridad

Análisis de muro

Cálculo de la presión activa de la tierra : Coulomb
 Cálculo de la presión pasiva de la tierra : Caquot-Kerisel
 Análisis sísmico : Mononobe-Okabe
 Forma de la cuña de la tierra : Calcular oblicuo
 Excentricidad permitida : 0,333
 Metodología de verificación : Factores de seguridad (ASD)

Factores de seguridad			
Situación de diseño permanente			
Frente al vuelco :	$SF_o =$	1,50	[-]
Para resistencia al deslizamiento :	$SF_s =$	1,50	[-]
Para capacidad portante :	$SF_b =$	1,50	[-]
Para fuerza de malla :	$SF_n =$	1,50	[-]

Coeficientes de reducción		
Situación de diseño permanente		
Para fricción entre bloques :	$\gamma =$	1,50 [-]

Material de bloques - relleno

Nro.	Nombre	γ [kN/m ³]	ϕ [°]	c [kPa]
1	RCD	24,00	12,00	0,00

Material de bloques - malla

Nro.	Nombre	Resistencia Sobresalir R_t [kN/m]	Espacio de malla vert. v [m]	Cap.port. de diaclasa frontal R_c [kN/m]
1	RCD	40,00	1,00	40,00

Geometría de la estructura

Nro.	Ancho b [m]	Altura h [m]	Corrimiento a [m]	Material
3	1,00	0,50	0,50	RCD
2	1,50	0,50	0,50	RCD
1	2,00	0,50	-	RCD

Pendiente Gavión = 0,00 °
 Altura completa = 1,50 m
 Volumen completo del muro = 2,25 m³/m

1

Datos del suelo

Arcilla arenosa (CS), consistencia firme

Peso unitario : $\gamma = 18,50 \text{ kN/m}^3$
 Estado de tensión : efectivo
 Ángulo de fricción interna : $\phi_{ef} = 24,50^\circ$
 Cohesión de suelo : $c_{ef} = 14,00 \text{ kPa}$
 Ángulo de fricción estructura-suelo : $\delta = 15,00^\circ$
 Suelo : granular
 Peso unitario de suelo saturado : $\gamma_{sat} = 18,50 \text{ kN/m}^3$

Arcilla de baja o mediana plasticidad (CL, CI), consistencia firme

Peso unitario : $\gamma = 21,00 \text{ kN/m}^3$
 Estado de tensión : efectivo
 Ángulo de fricción interna : $\phi_{ef} = 19,00^\circ$
 Cohesión de suelo : $c_{ef} = 12,00 \text{ kPa}$
 Ángulo de fricción estructura-suelo : $\delta = 15,00^\circ$
 Suelo : granular
 Peso unitario de suelo saturado : $\gamma_{sat} = 21,00 \text{ kN/m}^3$




N200

Peso unitario : $\gamma = 21,00 \text{ kN/m}^3$
 Estado de tensión : efectivo
 Ángulo de fricción interna : $\phi_{ef} = 0,00^\circ$
 Cohesión de suelo : $c_{ef} = 0,00 \text{ kPa}$
 Ángulo de fricción estructura-suelo : $\delta = 0,00^\circ$
 Suelo : granular
 Peso unitario de suelo saturado : $\gamma_{sat} = 21,00 \text{ kN/m}^3$

RCD

Peso unitario : $\gamma = 23,00 \text{ kN/m}^3$
 Estado de tensión : total
 Resistencia al corte : $c_u = 1,00 \text{ kPa}$
 Adhesión estructura - suelo : $a = 0,00 \text{ kPa}$
 Suelo : granular

Perfil geológico y suelos asignados

Nro.	Capa [m]	Suelo asignado	Trama
1	1,00	Arcilla arenosa (CS), consistencia firme	
2	2,00	Arcilla de baja o mediana plasticidad (CL, CI), consistencia firme	
3	-	Arcilla arenosa (CS), consistencia firme	

Cimentación

Tipo de cimentación : suelo desde perfil geológico

Manuel Salcedo - Andres Mendez

Perfil de terreno

Detrás de la construcción el terreno tiene pendiente 1: 3,73 (el ángulo de la pendiente es 15,00 °).

Influencia del agua

El nivel freático está ubicado debajo de la estructura.

Resistencia en la cara frontal de la estructura

No se considera la resistencia en la cara frontal de la estructura.

Fuerzas aplicadas actuando sobre la estructura

Nro.	Fuerza nueva editar	Nombre	Acción	F _x [kN/m]	F _z [kN/m]	M [kNm/m]	x [m]	z [m]
1	Si	Fuerza Nro. 1	Permanente	0,10	0,10	0,10	0,00	0,00

Configuraciones generales

La presión mínima de dimensionado se considera como $\sigma_{a,min} = 0,20\sigma_z$

Configuraciones de la etapa de construcción

Situación de diseño : permanente

Verificación Nro.1

Fuerzas que actúan sobre la construcción

Nombre	F _{hor} [kN/m]	Pto.Apl. z [m]	F _{vert} [kN/m]	Pto.Apl. x [m]	Diseño Coeficiente
Peso - Muro	0,00	-0,64	54,00	1,19	1,000
Presión activa	4,23	-0,50	0,01	2,00	1,000
Fuerza Nro. 1	-0,10	-1,50	0,10	2,00	1,000

Verificación del muro completo

Verificación de la estabilidad de vuelco

Momento estabilizador $M_{res} = 64,97$ kNm/m

Momento de vuelco $M_{ovr} = 2,09$ kNm/m

Factor de seguridad = 31,06 > 1,50

Muro para vuelco ES SATISFACTORIA

Verificación del deslizamiento

Fuerza horizontal resistente $H_{res} = 42,63$ kN/m

Fuerza horizontal activa $H_{act} = 4,13$ kN/m

Factor de seguridad = 10,34 > 1,50

Muro para deslizamiento ES SATISFACTORIA

Verificación completa - MURO ES SATISFACTORIA

Capacidad portante del terreno de cimentación

Carga de diseño actuando en el centro del fondo de la zapata

Nro.	Momento [kNm/m]	Fuerza Normal [kN/m]	Resistencia al corte [kN/m]	Excentricidad [-]	Tensión [kPa]
1	-8,77	54,11	4,13	0,000	27,06

Carga de servicio actuando en el centro del fondo de la zapata

3

Manuel Salcedo - Andres Mendez

Nro.	Momento [kNm/m]	Fuerza Normal [kN/m]	Resistencia al corte [kN/m]
1	-8,77	54,11	4,13

Verificación de la capacidad portante del terreno de cimentación

Tensión en el fondo de la zapata : Rectángulo

Verificación de excentricidad

Máx. excentricidad de fuerza normal $e = 0,000$

Máxima excentricidad permitida $e_{alw} = 0,333$

Excentricidad de la fuerza normal ES SATISFACTORIA

Verificación de la capacidad portante del fondo de la zapata

Max. tensión en el fondo de la zapata $\sigma = 27,06$ kPa

Capacidad portante del terreno de cimentación $R_d = 252,00$ kPa

Factor de seguridad = 9,31 > 1,50

Capacidad portante del terreno de cimentación ES SATISFACTORIA

Estabilidad global - Cap. portante del terreno de cimentación ES SATISFACTORIA

Dimensionamiento Nro.1

Fuerzas que actúan sobre la construcción

Nombre	F_{hor} [kN/m]	Pto.Apl. z [m]	F_{vert} [kN/m]	Pto.Apl. x [m]	Diseño Coeficiente
Peso - Muro	0,00	-0,45	30,00	0,85	1,000
Presión activa	1,85	-0,33	0,00	1,50	1,000
Fuerza Nro. 1	-0,10	-1,00	0,10	1,50	1,000

Verificación de la junta constructiva sobre el bloque Nro.: 1

Verificación de la estabilidad de vuelco

Momento estabilizador $M_{res} = 25,85$ kNm/m

Momento de vuelco $M_{ovr} = 0,62$ kNm/m

Factor de seguridad = 41,92 > 1,50

Conjunto para estabilidad de vuelco ES SATISFACTORIA

Verificación del deslizamiento

Fuerza horizontal resistente $H_{res} = 6,40$ kN/m

Fuerza horizontal activa $H_{act} = 1,75$ kN/m

Factor de seguridad = 3,66 > 1,50

Junta para deslizamiento ES SATISFACTORIA

Máxima presión en la base del bloque = 20,07 kPa
Coef. de Red. para corrimiento del bloque superior = 0,00
Valor promedio de la presión en el frente = 4,34 kPa
Resistencia al corte transmitida por fricción = 4,27 kN/m

Capacidad portante contra presión transversal:

Capacidad portante de la junta = 40,00 kN/m

Cálculo de estado de tensión = 1,45 kN/m

Factor de seguridad = 27,63 > 1,50

4

Comprobar la presión transversal ES SATISFATORIA

Comprobar la diaclasa entre bloques::

Malla de la capacidad port. del material = 40,00 kN/m

Cálculo de estado de tensión = 1,45 kN/m

Factor de seguridad = 27,63 > 1,50

Junta entre bloques ES SATISFATORIA

Análisis de estabilidad de taludes

Entrada de datos

Proyecto

Configuración

Estándar - Factor de seguridad

Análisis de estabilidad

Análisis sísmico : Estándar

Metodología de verificación : Factores de seguridad (ASD)

Factores de seguridad	
Situación de diseño permanente	
Factor de seguridad :	$SF_s = 1,50 [-]$

Interfaz

Nro.	Ubicación de la Interfaz	Coordenadas de puntos de interfaz [m]					
		x	z	x	z	x	z
1		-10,00	-1,50	-2,00	-1,50	-2,00	-1,00
		-1,50	-1,00	-1,50	-0,50	-1,00	-0,50
		-1,00	0,00	0,00	0,00	10,00	2,68
2		-2,00	-1,50	0,00	-1,50	0,00	-1,00
		0,00	-0,50	0,00	0,00		
3		0,00	-1,00	10,00	-1,00		
4		-10,00	-3,00	10,00	-3,00		

Parámetros de suelo - Estado de tensión efectiva

Nro.	Nombre	Trama	ϕ_{ef} [°]	c_{ef} [kPa]	γ [kN/m ³]
1	Arcilla arenosa (CS), consistencia firme		24,50	14,00	18,50
2	Arcilla de baja o mediana plasticidad (CL, CI), consistencia firme		19,00	12,00	21,00
3	N200		0,00	0,00	21,00

Parámetros de suelo - subpresión

Nro.	Nombre	Trama	γ_{sat} [kN/m ³]	γ_s [kN/m ³]	n [-]
1	Arcilla arenosa (CS), consistencia firme		18,50		
2	Arcilla de baja o mediana plasticidad (CL, CI), consistencia firme		21,00		
3	N200		21,00		

Parámetros de suelo - estado de tensión total

Nro.	Nombre	Trama	c_u [kPa]	γ [kN/m ³]
1	RCD		1,00	23,00

Datos del suelo

Arcilla arenosa (CS), consistencia firme

Peso unitario : $\gamma = 18,50$ kN/m³
 Estado de tensión : efectivo
 Ángulo de fricción interna : $\phi_{ef} = 24,50$ °
 Cohesión de suelo : $c_{ef} = 14,00$ kPa
 Peso unitario de suelo saturado : $\gamma_{sat} = 18,50$ kN/m³

Arcilla de baja o mediana plasticidad (CL, CI), consistencia firme

Peso unitario : $\gamma = 21,00$ kN/m³
 Estado de tensión : efectivo
 Ángulo de fricción interna : $\phi_{ef} = 19,00$ °
 Cohesión de suelo : $c_{ef} = 12,00$ kPa
 Peso unitario de suelo saturado : $\gamma_{sat} = 21,00$ kN/m³

N200


Peso unitario : $\gamma = 21,00$ kN/m³

Manuel Salcedo - Andres Mendez

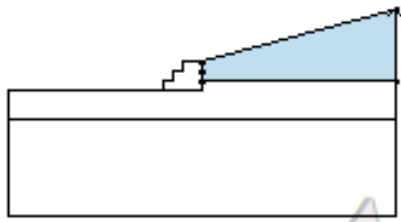
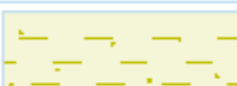
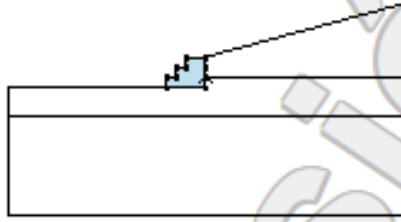
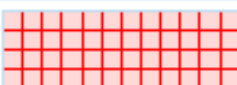
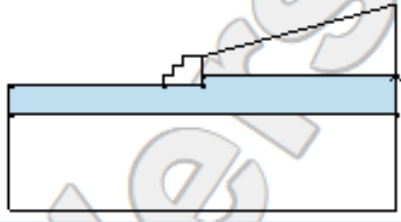

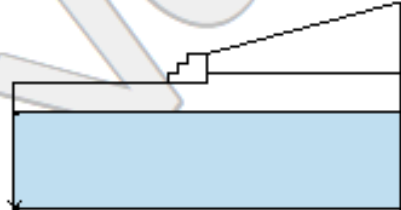

Estado de tensión : efectivo
 Ángulo de fricción interna : $\phi_{ef} = 0,00^\circ$
 Cohesión de suelo : $c_{ef} = 0,00 \text{ kPa}$
 Peso unitario de suelo saturado : $\gamma_{sat} = 21,00 \text{ kN/m}^3$

RCD
 Peso unitario : $\gamma = 23,00 \text{ kN/m}^3$
 Estado de tensión : total
 Resistencia al corte : $c_u = 1,00 \text{ kPa}$

Cuerpos rígidos

Nro.	Nombre	Patrón	γ [kN/m ³]
1	Material de muro		24,00

Asignación y superficies

Nro.	Posición de superficie	Coordenadas de puntos de superficie [m]				Asignado suelo
		x	z	x	z	
1		10,00	-1,00	10,00	2,68	Arcilla arenosa (CS), consistencia firme 
		0,00	0,00	0,00	-0,50	
		0,00	-1,00			
2		0,00	-1,50	0,00	-1,00	Material de muro 
		0,00	-0,50	0,00	0,00	
		-1,00	0,00	-1,00	-0,50	
		-1,50	-0,50	-1,50	-1,00	
		-2,00	-1,00	-2,00	-1,50	
3		10,00	-3,00	10,00	-1,00	Arcilla de baja o mediana plasticidad (CL, CI), consistencia firme 
		0,00	-1,00	0,00	-1,50	
		-2,00	-1,50	-10,00	-1,50	
		-10,00	-3,00			
4		-10,00	-3,00	-10,00	-8,00	Arcilla arenosa (CS), consistencia firme 
		10,00	-8,00	10,00	-3,00	

7

Manuel Salcedo - Andres Mendez

Agua

Tipo de agua : Sin presencia de agua

Grieta de tracción

No se ha introducido la grieta de tracción.

Sismo

Sismo no incluido.

Configuraciones de la etapa de construcción

Situación de diseño : permanente

Resultados (Etapa de construcción 1)

Análisis 1

Superficie de deslizamiento circular

Datos de la superficie de deslizamiento					
Centro :	x =	-4,70 [m]	Ángulos :	$\alpha_1 =$	-11,92 [°]
	z =	23,00 [m]		$\alpha_2 =$	35,64 [°]
Radio :	R =	25,04 [m]	Superficie de deslizamiento especificada.		

Verificación de estabilidad de taludes (Bishop)

El análisis no se llevó a cabo

