

	<b>UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA</b>			
	Documento	Código	Fecha	Revisión
	FORMATO HOJA DE RESUMEN PARA TRABAJO DE GRADO	F-AC-DBL-007	10-04-2012	A
DIVISIÓN DE BIBLIOTECA		Dependencia	Aprobado	Pág.
		SUBDIRECTOR ACADEMICO		i(90)

## RESUMEN – TRABAJO DE GRADO

AUTORES	<b>CARMELO RODRIGUEZ GUERRERO-LEONARDO NAVARRO RUEDAS</b>		
FACULTAD	<b>DE INGENIERIAS</b>		
PLAN DE ESTUDIOS	<b>TECNOLOGIA EN OBRAS CIVILES</b>		
DIRECTOR	<b>CIRO EDUARDO MARTINEZ RINCON</b>		
TÍTULO DE LA TESIS	<b>ANALISIS DE MUROS MECANICAMENTE ESTABILIZADOS MONOGRAFIA SOBRE ANALISIS DE EXPERIENCIAS</b>		
<b>RESUMEN</b> (70 palabras aproximadamente)			
<p><b>ESTA MONOGRAFIA SE DESARROLA ANTE LA IMPLACABLE NECESIDAD DE ENCONTRAR UNA MEJOR MANERA DE EVITAR LAS AVALANCHAS, QUE ERAN CIERTAMENTE UN RIESGO SOCIAL PARA SU SUPERVIVENCIA, EL HOMBRE PREHISTORICO FUE ENCONTRANDO OTRO TIPO DE MATERIALES PETREOS QUE COMO LA CALIZA, TERMINO SIENDO LA PRECURSORA SIGLOS DESPUES, DEL CEMENTO, INSUMO NATURAL QUE AL SER COMBINADO CON LA ARENA, SE CONSTITUYO EN EL MORTERO, QUE DARÍA PASO A UNA CONSTRUCCION RIGIDA A LA QUE SE LE LLAMO DE CONCRETO ARMADO</b></p>			
<b>CARACTERÍSTICAS</b>			
PÁGINAS: 88	PLANOS: 0	ILUSTRACIONES: 0	CD-ROM:01



**ANÁLISIS DE MUROS MECÁNICAMENTE ESTABILIZADOS MONOGRAFIA  
SOBRE ANÁLISIS DE EXPERIENCIAS**

**Autores**

**CARMELO RODRIGUEZ GUERRERO**

**LEONARDO NAVARRO RUEDAS**

**Trabajo de grado modalidad monografía, con el fin de optar el título de Tecnólogo en obras**

**Civiles**

**Director de Monografía**

**Ing. CIRO EDUARDO MARTINEZ RINCON**

**UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**

**PROGRAMA DE TECNOLOGÍA EN OBRAS CIVILES.**

**Ocaña, Colombia**

**Junio, 2021**

## Índice

<b>Capítulo 1. Análisis de Muros Mecánicamente Estabilizados Monografía sobre Análisis de Experiencias</b> .....	1
1.1. El Problema.....	1
1.2. Tipos de Suelos .....	8
1.2.1. Suelos Rocosos .....	10
1.2.2. Suelos Granulares .....	12
1.2.3. Suelos Finos .....	13
1.3. Movimientos de Tierras .....	14
<b>Capitulo 2. Fundamentos Técnico- Prácticos que Soportan el Proceso de Montaje de Muros Mecánicamente Estabilizados.</b> .....	16
2.1. Respuesta práctica de la técnica de la tierra armada, en muros mecánicamente estabilizados.....	20
2.2.1. Propiedades de este tipo de técnica.....	20
2.2. Consideraciones geotécnicas para muros mecánicamente estabilizados.....	22
2.3. Aportes metodológicos para la construcción de muros de contención mecánicamente estabilizados, mediante el concurso de elementos geosintéticos.....	25
2.3.1. Estabilidad Interna.....	27
2.3.2. Estabilidad Externa.....	30
2.4. Tipos de geosintéticos empleados en muros de contención mecánicamente estabilizados.....	31
<b>Capitulo 3. Actividades Dentro del Proceso de Montaje de Muros Mecánicamente Estabilizados.</b> .....	36
3.1. Generalidades.....	36
<b>Capítulo 4. Compilación de Experiencias en Relación con la Construcción de Muros de Contención Mecánicamente Estabilizados y Conclusiones</b> .....	55
4.1. Generalidades.....	55
<b>Capítulo 5. Conclusiones</b> .....	63
Referencias.....	68
Apéndice .....	71

## Lista de Tablas

Tabla 1 Tipos y condiciones admisibles de rocas.....	11
Tabla 2 Tipos y condiciones admisibles en suelos granulares.....	13
Tabla 3 Tipos y condiciones admisibles en suelos granulares.....	13

## Lista de Figuras

Figura 1 Diagrama .....	17
Figura 2 Resultado Diagrama .....	17
Figura 3 Detalle de las bandas y la placa de un muro de Tierra Armada .....	19
Figura 4 Esfuerzos en el plano de falla .....	21
Figura 5 Diagrama de nivel rasante .....	24
Figura 6 Guía de Cimentación en Obras de Carretera .....	29
Figura 7 Separación molecular de geosintéticos.....	31
Figura 8 Paso de fluidos en dos sentidos .....	32
Figura 9 Paso de fluidos aun con compresión de carga .....	32
Figura 10 Función aumentadora de capacidad de carga .....	33
Figura 11 Función de absorción y mitigación de fuerza.....	33
Figura 12 Función de absorción y aislamiento de fluidos .....	34
Figura 13 Muros de contención mediante geosintéticos.....	35
Figura 14 Estudio de suelos y planificación de diseños según el tipo de estructura .....	38
Figura 15 Prefabricación y consecución de elementos de montaje .....	41
Figura 16 Disposición y almacenaje de losas .....	42
Figura 17 Construcción de vigas de nivelación y filtros.....	43
Figura 18 Instalación de losas de arranque y bandas de estabilización de losas .....	45
Figura 19 Rellenos según material y tipo de compactación (diseño) .....	46
Figura 20 Relleno en muro de acceso a estribo 2 del Puente Pumarejo, Barranquilla, Colombia	48
Figura 21 Compactando el relleno.....	49
Figura 22 Colocación y montaje de losas estándar.....	50
Figura 23 Colocando losas de esquina.....	50
Figura 24 Colocación y montaje de losas de coronación.....	51
Figura 25 Vista parcial del montaje de losas de coronación.....	51
Figura 26 Muros Ramal. Barrio La Chinita. Puente Pumarejo. Barranquilla.....	52
Figura 27 Muro Pk 2+250 ruta al mar1 via medellin – Santa Fe de Antioquia.....	52
Figura 28 Muro pk 1+500 ruta al mar1 via Medellin – santa fe de Antioquia .....	53
Figura 29 Muro pk 6+700 ruta al mar1 via Medellin – santa fe de Antioquia .....	53
Figura 30 Muro pk 23+920 ruta al mar1 via Medellin – santa fe de Antioquia .....	53
Figura 31 Muro pk 23+930 ruta al mar1 via Medellin – santa fe de Antioquia .....	54

## **Lista de Apéndice**

Apéndice A Fotos de los muros pk 23+920 y 23+930 durante el desarrollo de la obra desde el 10 de julio del 2020 hasta el 10 de octubre del 2020. En la obra Ruta al Mar1 .....	72
--	----

## Introducción

El asumir el presente tema de investigación sobre experiencias ajenas y propias, hacen de la presente monografía un documento digno de consulta, porque no cabe duda. que todo conocimiento que se adquiere dentro de la práctica, enriquece de una manera inalienable cualquier profesión y mucho más, la tecnología en obras civiles, que como auxiliar inexpugnable de la ingeniería civil, se constituye en una aliada y herramienta clave para garantizar un producto final confiable, como resultado de un desempeño óptimo, de quienes trasiegan por dicha disciplina.

Tanto el Ingeniero Civil, como el Tecnólogo en Obras Civiles, son profesionales particularmente entrenados académicamente para desempeñarse en áreas íntimamente ligadas al bienestar del individuo, tales como: vivienda, transporte, canalización de fluidos, diseño de estructuras de soporte y contención de taludes, además de la construcción de acueductos y dotación de bienestar social entre otros atributos.

De esta última referencia, podría decirse que la Ingeniería Civil y por extensión todas sus ciencias auxiliares, han jugado un papel trascendental en el bienestar de la sociedad, papel que ha ido evolucionando progresivamente a través del tiempo. Y justamente fue el tiempo quien permitió que se hablara por primera vez de muros de contención hace miles de años, cuando la necesidad del hombre sedentario hizo que visualizara la necesidad de construirlos a partir de rocas nativas de su región y unidas con algún tipo de aglutinante que era básicamente tierra con agua, es decir barro.

Con el transcurrir del tiempo y ante la implacable necesidad de encontrar una mejor manera de evitar las avalanchas, que eran ciertamente un riesgo social para su supervivencia, el hombre prehistórico fue encontrando otro tipo de materiales pétreos que como la caliza, terminó siendo la precursora siglos después, del cemento, insumo natural que al ser combinado con la arena, se constituyó en el mortero, que daría paso a una construcción rígida a la que se le llamó de concreto armado, es decir, una nueva mezcla más resistente a la nativa, esta vez hecha de arena, grava, cemento, agua y reforzada con acero.

La experiencia con este tipo de formato, hizo que la inventiva del hombre buscara otras alternativas, ya que con esta técnica del concreto armado, los constructores se abocaban a tener serios problemas con la altura de los muros a construir, debido a que alturas superiores a los 3 mts. Significaba, no sólo más tiempo de construcción, sino más costo hombre/hora y desde luego una exigencia de espacio más grande para maniobrar, sumado al desperdicio de materiales.

De acuerdo con esta premisa y para el caso que encierra la presente monografía, el análisis de muros mecánicamente estabilizados, ha sido una práctica profesional muy socorrida en ingeniería de vías, por cuanto ha permitido delinear carreteras, senderos y hasta vías terciarias, con la garantía expresa de no producir deslizamientos que pongan en riesgo la vida de quienes por estos caminos transitan.

Como parte de la interacción entre la Ingeniería Civil y el programa auxiliar en Tecnología en Obras Civiles, hoy puede decirse que la formación académica recibida, ha cuidado al detalle insistir en la observación práctica de la ética y la responsabilidad social; de allí la importancia en

sostener, que las metodologías de enseñanza en las que se promueve que el estudiante sea el constructor de su propio aprendizaje (aprendizaje activo), sean hoy por hoy, los métodos más eficientes para garantizar el desempeño profesional de ingenieros y tecnólogos.

En este orden de ideas, esta monografía se ha nutrido no solo de las experiencias propias, sino de las ajenas que se han podido recabar mediante la consulta de estudios que recogen pormenores relacionados con el análisis de muros mecánicamente estabilizados en diferentes regiones del país y fuera de él, que hayan contribuido a fortalecer los instrumentos empleados en la recolección de la información necesaria en función de la estructuración de proyectos de este tipo, basados primordialmente en: entrevistas semiestructuradas, observación directa y revisión documental.

Todos los elementos que la constituyen han sido delimitados geográfica, espacial, operativa, conceptual y temporalmente para evitar dispersar el análisis concreto del tema en particular.

Desde esta perspectiva esta monografía se delimitó de la siguiente manera:

**Geográfica:** El desarrollo de la investigación tuvo lugar en el Occidente del departamento de Antioquia.

**Espacial:** Todo lo que aquí se relaciona, se hizo en la vía que comunica a la ciudad de Medellín con el occidente del departamento de Antioquia, específicamente entre el túnel de Occidente y el municipio de Santa fe de Antioquia. (Fernando Gómez García 2020)

**Operativa.** La propuesta buscó cubrir todo lo referente a la construcción de obras civiles, específicamente en aquello que comprenda la prefabricación y armado de estructuras que pueden brindar la estabilidad y capacidad portante de los terrenos para hacer obras tales como: vías, acceso a puentes o diseñar algún tipo de estructuras que sirvan de mayor estabilidad para el soporte de cualquier de ellas, que implique el ser construidas, en un área segura y antisísmica.

**Temporal:** La presente investigación ha concebida en un tiempo posible de 8 semanas, tiempo necesario para consolidar cada uno de los capítulos consignados en ella.

**Conceptual:** El área más común de utilización para este tipo de sistema constructivo relacionado con la estabilización mecánica de estructuras, son las vías, pero también su uso cubre igualmente la contención de taludes para terrazas y otras facilidades como acceso a puentes, los cuáles en los últimos tiempos, han tenido mayor demanda por la seguridad y estabilidad que ofrecen los muros mecánicamente estabilizados.

Por lo demás, esta monografía fue dividida en capítulos, que atendieron al manejo sincrónico del desarrollo del tema, a través del compendio de los núcleos temáticos que consolidaron el todo conceptual de lo que aquí se propone, de acuerdo con el siguiente orden:

**Capítulo 1** En este ítem se fundamentó teóricamente todo lo que aludiera a las características con las que se diseñan y construyen muros mecánicamente estabilizados, que sirvieran como un reforzamiento a los conocimientos prácticos que se tengan a la hora de construir muros con estas especificaciones, sobre todo en terrenos topográficamente difíciles por

lo irregulares y con lo que se podría optimizar el área de construcción para obtener plataformas horizontales con la capacidad de carga requerida.

Es sabido, que en el caso de los muros de contención, estos tienen el propósito de mantener una diferencia de niveles de suelo con el objetivo de obtener diferentes beneficios en cualquier tipo de diseño relacionado con obras civiles, de allí que se requiera un estudio y clasificación de suelos donde se piense construir.

**Capítulo 2** En este acápite, la investigación expone los fundamentos técnico- prácticos alrededor del tema, mediante el cual se especifica de manera puntual, la metodología empleada, con la que se espera cimentar un criterio altamente técnico en relación con este tipo de construcciones. Se busca que el trabajo que se pueda realizar mediante la metodología sugerida, sirva de soporte práctico para quienes en un momento dado consulten esta monografía y quieran valerse de la técnica desplegada, recreando para el efecto, una réplica práctica del método descrito, de acuerdo con el tipo de obras civiles que la construcción de un muro de estas características, exija.

**Capítulo 3.** En este capítulo, se explica el proceso constructivo desde lo metodológico y mediante ejemplos prácticos, que permitan visualizar en su conjunto cómo es que se deben disponer los conocimientos obtenidos y sobre los mismos, establecer las características que determinan, el paso a paso que encierra un tipo de construcción como la que se propone, partiendo a su vez, de la información recogida, por ser útiles para la condensación de la propuesta.

**Capítulo 4** En este punto, se recogen las experiencias captadas, no solo mediante las consultas bibliográficas realizadas, sino por aquellas recogidas a través del conocimiento previo que se tenga sobre el tema, con la cual se busca, no sólo evaluar la pertinencia y viabilidad práctica de la información obtenida, sino hacer de esta monografía un aporte útil para los futuros consultores de la misma.

Finalmente, el estudio se llevó a cabo utilizando herramientas de análisis cualitativo, mediante los cuales, fue posible establecer modelos constructivos sobre la base de parámetros reconocidos a través de experiencias documentadas, que permitieron hacerse una idea, del rol que cumple en estas lides, el tecnólogo en obras civiles en la sociedad colombiana.

## Resumen

Esta monografía recopila experiencias ajenas y propias sobre el tema de muros mecánicamente estabilizados, a partir de un análisis tanto de la metodología empleada en su construcción, como la recopilación de datos ya sometidos a estudio y aplicados como resultado de experiencias que han sido exitosas en la práctica personal de los investigadores.

Se buscó aportar datos valiosos para el proceso de prefabricado y montaje de estructuras con estas características, dado que ha habido un acercamiento real de los investigadores con este tipo de experiencias.

A través de los datos recabados, se busca igualmente fundamentar las técnicas de construcción de muros mecánicamente estabilizados, dado que el concreto, si bien, es uno de los materiales implementados por excelencia, al momento de consolidar un proyecto de construcción, los muros de contención en suelo reforzado son una opción viable, que le traerá al constructor múltiples ventajas.

Desde esta perspectiva conceptual, “un muro de contención, es una estructura mediante la cual se retiene un terreno. Esta se compone de materiales térreos, a los cuales se les involucra un elemento de refuerzo”. (Bielza, 2009)

**Palabras clave:** Muros, estructuras, obras civiles, resistencia de materiales, elementos térreos, tipos de concreto.

## Abstract

This monograph compiles other people's and own experiences on the subject of mechanically stabilized walls, based on an analysis of both the methodology used in their construction, as well as the collection of data already submitted to study and applied as a result of experiences that have been successful in the personal practice of researchers.

We sought to provide valuable data for the process of precasting and assembling structures with these characteristics, since there has been a real rapprochement of researchers with this type of experience.

Through the data collected, it is also sought to base the construction techniques of mechanically stabilized walls, since concrete, although it is one of the materials implemented par excellence, when consolidating a construction project, retaining walls in reinforced soil they are a viable option, which will bring multiple advantages to the builder.

From this conceptual perspective, “a retaining wall is a structure by which a piece of land is retained. This is made up of earth materials, to which a reinforcing element is involved”.

(Bielza, 2009)

**Keywords:** Walls, structures, civil works, resistance of materials, earth elements, types of concrete.

# Capítulo 1. Análisis de Muros Mecánicamente Estabilizados Monografía sobre Análisis de Experiencias

## 1.1. El Problema.

Hablar de muros mecánicamente estabilizados supone profundizar en la forma como se concibe una estructura para ese fin. Se trata aquí de definir que son estructuras de contención, basadas en la colocación de elementos resistentes situados en el interior de un terraplén, con lo cual se espera y debido a un tratamiento de ingeniería, proporcionarle a un terreno determinado, la estabilidad necesaria.

Generalmente, este tipo de refuerzos pensados para muros de contención mecánicamente estabilizados, utilizan estructuras de soporte, con base en elementos muy poco deformables, ya sean metálicos o de cualquier otro material, previniendo siempre que la deformación en servicio que pueda derivarse, sea compatible con la requerida para el paramento de la estructura en sí.

Para efectos de comprender concretamente lo aquí expuesto, habría que decir, que “un paramento es la parte exterior, la más visible de la estructura. Su papel es más local y consiste en evitar la degradación del macizo armado y fijar la geometría en planta y alzado” (Bauzá C, 2016)

Se busca pues, atender en el desarrollo de esta propuesta, todo lo atinente al cómo se pueden levantar muros mecánicamente estabilizados, utilizando para el efecto, “variadas

metodologías que contribuyan a definir la resistencia necesaria del refuerzo, la longitud de anclaje y la separación de los mismos. La casi totalidad de los métodos son iterativos, fijándose o bien el tipo de refuerzo o la separación entre estos”. (Bauzá C, 2016)

En este orden de ideas, este ítem se fundamenta teóricamente en todo aquello que aluda a las características con las que se diseñan y se lleven a la práctica los conocimientos que se tengan a la hora de construir muros con estas especificaciones, sobre todo, en terrenos topográficamente difíciles por lo irregulares y que obligan a optimizar el área de construcción para obtener plataformas horizontales con la capacidad de carga requerida.

Es sabido, qué en el caso de los muros de contención, estos tienen el propósito de mantener una diferencia de niveles de suelo, con el objetivo de obtener diferentes beneficios en cualquier tipo de diseño relacionado con obras civiles.

Al respecto, podría decirse que uno de los problemas preliminares que deben atenderse en relación con la estabilización mecánica de muros, tienen qué ver con la calidad del diseño de las cimentaciones de estructuras que los soportarían y que demandan conocimiento antelares, que permitan saber:

- a) Qué tipo de carga soportaría la superestructura que afectará al sistema de cimentación.
- b) Qué experticia tienen los constructores del muro que se aspira mecánicamente a estabilizar, en cuanto al reglamento de construcción sismo resistente, qué para el caso, sería la Norma NSR-10. de la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. 2010.

- c) Qué sabe el constructor, del comportamiento y esfuerzo de los suelos que soportarían el sistema de cimentación y
- d) Qué estudios previos se conocen de acuerdo con las condiciones geológicas del suelo en consideración. (AASHTO, 2007)

En este sentido, se hace imperiosamente necesario, conocer de antemano las especificidades geotécnicas del suelo, en cuanto su distribución granulométrica, plasticidad, compresibilidad y resistencia cortante, factores estos que se pueden predecir mediante las pruebas de laboratorio pertinentes.

Es muy importante que dentro de este proceso, el constructor haga especial análisis de las propiedades de resistencia y deformación del suelo, porque esta advertencia de manera temprana, evitará que se alteren los resultados esperados durante la exploración de campo previamente convenido en el diseño.

Bajo este concepto, es indispensable tener en cuenta, la importancia que tiene para cualquier tipo de obra civil, el análisis del suelo porque este factor, es irrenunciable a la hora de emprender una construcción.

Sin embargo, hay ciertas circunstancias generalmente de tipo económico, que obligan al profesional en obras civiles, sean estos ingenieros o tecnólogos, a hacer ciertas suposiciones respecto a las propiedades del suelo, sobre todo cuando no se cuente in situ con los servicios confiables de un buen laboratorio.

En este sentido, la proba formación del profesional, en mecánica de suelos, le darán la fundamentación suficiente para prever y saber que los depósitos naturales de suelos sobre los que se construyen las cimentaciones, no son automáticamente las ideales para acometer la obra civil que se propone, dado que los suelos, por naturaleza geológica, no son homogéneos en la mayoría de los casos.

Para resolver este primero escollo, el profesional responsable de la obra civil deberá tener una comprensión completa de la geología del área, es decir, el origen y la naturaleza de la estratificación del suelo y también de las condiciones del agua en el subsuelo, porque no hay que ignorar, que la llamada ingeniería de cimentaciones “es una combinación ingeniosa de mecánica de suelos, ingeniería geológica y buen juicio, generalmente derivado de una experiencia pasada, que hasta cierto punto se puede denominar un arte” (Braja, 2006)

De acuerdo con lo anterior, la experiencia acumulada sobre la construcción de muros de tierra mecánicamente estabilizados, se ha extendido en Colombia y el mundo, dada su eficacia y relativa rapidez, frente a los métodos tradicionales de muros de contención de recurrencia palmaria en tiempo no tan remotos.

Dadas pues las condiciones de la geografía nacional, generalmente de características alpinas y quebradas, es supremamente necesario, tanto para el profesional de la ingeniería civil, como para el tecnólogo en obras civiles, tener un reconocimiento geológico y geotécnico previo, que le permitan proyectar este tipo de muros, buscando no solo economía racional, sino celeridad con garantías de calidad, en cuanto a la seguridad y longevidad de los mismos

Conseguir estas propiedades, dependen en grado sumo de tener especial cuidado en la observancia de los elementos de drenaje interno y del drenaje exterior a la hora de diseñarlos, teniendo en cuenta, que las protecciones del pie y las contenciones provisionales de las excavaciones necesarias para preparar el cimiento, sean semejantes a los de los muros convencionales, con la diferencia que los mecánicamente estabilizados, “tienen un reforzamiento, ya sea mediante mallas propias de muros con base en tiras geotextiles o mediante tiras metálicas, generalmente de aluminio, que suelen construirse mediante un pequeño zócalo de hormigón en la zona delantera del cimiento, utilizando para el efecto, métodos de cálculo de equilibrio límite, de acuerdo con los parámetros de cálculo de estabilidad de taludes según Janbu, Bishop, Morgenstern y Price, etc”. (2001)

No obstante, habría que advertir, que independientemente de la técnica usada, hay veces que los muros de suelo reforzado, pueden desencadenar fallas, básicamente, cuando estos han sido construidos a media ladera, sin las precauciones y atenuantes técnicos suficientes para garantizar su estabilidad, desconociendo por ligereza o imprevisión, otros factores que pueden impulsar un mejor tratamiento para la seguridad de la estabilidad que se persigue.

Uno de los factores desencadenantes de deslizamientos o erosión del cimiento que soporta la carga, sucede cuando los muros, son construidos a media ladera sin observar el prudente resguardo o distancia horizontal entre el borde externo de la cimentación y el talud natural del terreno.

No puede desconocerse por ningún motivo, que cuanto mayor sea el resguardo, mayores serán las garantías de estabilidad; dado que las posibles líneas de rotura han de presentar mayor longitud, y probablemente movilizarán zonas más resistentes al encontrarse a mayor profundidad en la ladera.

Estas advertencias técnicas no sobran, porque disponer en una obra de muros mecánicamente estabilizados, resguardos amplios, es sumamente costoso, pues no sólo aumentan las excavaciones necesarias, sino que también aumentan la altura del muro a construir. A pesar de todo, el estudio del resguardo es más que útil, cuando estos muros se construyen en laderas con una cierta inclinación, habitualmente proclives al deslizamiento.

La experiencia que acusan los investigadores en la construcción de muros mecánicamente estabilizados, en el occidente de Antioquia por ejemplo, les ha permitido resolver problemas que les ha enseñado qué, aunque el costo de los muros a veces se incremente considerablemente con la altura, estos deben construirse, teniendo en cuenta la observancia de resguardos amplios, sobre todo, en lo atinente a la altura a manejar, a fin de que se tengan los márgenes de seguridad mínimos que la norma NSR10 exige. (AIS, 2010)

De acuerdo con esto, la generalidad de los problemas que deben contemplarse en el análisis de muros mecánicamente estabilizados, tienen que ver indiscutiblemente con vectores de cálculo y por ende de seguridad. De allí que se haga indispensable para el profesional de la ingeniería y/o tecnología de obras civiles, reconocer la importancia del uso de métodos de cálculo sencillos,

que le permitan inicialmente explorar zonas o partes concretas de la frontera de fallo, si acaso la hubiere.

En el argot de la ingeniería, se habla de “modo de fallo” para referirse a un mecanismo estructural de rotura concreta, que tiene una ecuación suficientemente simple para que sea susceptible de análisis con procedimientos sencillos.

A esta circunstancia específica, se le conoce como “estado límite último” donde se habla de la falta de capacidad de soporte del terreno de cimentación, a partir de los cuales se invocan métodos de cálculo elementales, que sirvan para denotar aspectos parciales de fallos específicos, tales como:

- Hundimiento.
- Deslizamiento.
- Vuelco.

Dado que estos tres mecanismos son suficientemente autónomos e independientes entre sí, queda profusamente explorada la frontera del fallo, con lo que el profesional de la ingeniería y/o tecnología en Obra Civil podrá emitir un juicio relacionado con la seguridad de la cimentación.

Cabe anotar igualmente, que para las cimentaciones profundas se consideren modos de fallo concretos y en número suficiente, todas aquellas que cubran un aspecto de la problemática detectada, siempre en relación con las circunstancias específicas atinente al posible agotamiento de la capacidad de resistencia del terreno, tendrán qué ver con:

- Hundimiento.
- Arranque.
- Rotura del terreno por empujes horizontales.
- Esfuerzos excesivos en los pilotes.

En estos casos, “los estados límite de servicio, habrán de comprobarse normalmente a través de situaciones de proyecto persistentes, donde coincidan con una combinación de acciones casi permanentes y que se dan, únicamente en ciertos casos específicos, para los cuales, se requiere de la adopción de otras hipótesis”. (Alonso, 1989)

## **1.2. Tipos de Suelos**

Un tipo de suelo es una unidad taxonómica en la ciencia del suelo. Todos los suelos que comparten un cierto conjunto de propiedades bien definidas forman un tipo de suelo distintivo. En la construcción de muros mecánicamente estabilizados, tal como se ha dicho, prevalece el análisis de la estructura del suelo, como parte fundamental para determinar la contextura del mismo.

La anterior apreciación, habla de la importancia del conocimiento de los caracteres propios del suelo, quien por sí mismo, se constituye en el insumo irremplazable para la ejecución de cualquier obra civil por elemental que esta sea; ya que de su correcta exploración y conceptualización, depende, no solo el óptimo resultado de la obra como tal, sino la seguridad de

los trabajadores en la realización de la misma, debido a que cualquier tipo de excavación, sin los estudios necesarios, pueden generar movimientos de tierra, que lleguen a desencadenar una tragedia humana y se pierdan de hecho, procesos auxiliares cumplidos en la obra, tales como la construcción de: cimbras, encofrados, pozos y zanjas de cimentación líneas enterradas, etc.

Una cimentación inadecuada para el tipo de terreno por cuenta de malos diseños o de cálculos inapropiados o fallidos, generan la enorme posibilidad de que lo construido colapse, con las consiguientes consecuencias de lo que esto significa.

Así las cosas, se resalta la necesidad inaplazable de que antes de acometer una obra civil, se tenga en cuenta el estudio geotécnico, ya que este tiene por finalidad conocer las características del terreno que soportará la obra, indispensable para su fase de ejecución, atendiendo para el efecto las siguientes premisas:

- Reconocer la naturaleza de los materiales a ser excavados
- Planificar con suficiente antelación, el modo de excavación y la utilización de las herramientas o maquinaria adecuada.
- Identificar previamente los taludes a reforzar y diseñar correctamente los desmontes de la explanación
- Prever mediante análisis del suelo, la capacidad portante del terreno para soportar los rellenos y la estructura.
- Tener un conocimiento previo sobre lo que se quiere hacer y el cómo se pretende ejecutar la obra civil, para que esta, preste el servicio esperado.

- Cuidar al máximo los coeficientes de seguridad que deben adoptarse, en cuanto las medidas a tomar, para incrementarlas en caso de no ser requeridas.
- En este sentido, deben preverse la toma de muestras adicionales a medida que la obra avanza, con el objeto de detectar alteraciones en las condiciones del suelo, aparición de estratos diferentes a los previstos, generalmente por alteraciones en el nivel de la capa freática, etc.

De acuerdo pues con lo anterior, es muy necesario tener claro que en la clasificación de los suelos hay diversas presentaciones que se caracterizan por su composición geomorfológica, geotécnica y geotérmica que influyen en la actividad constructiva, con base en la naturaleza de estos.

Dentro de la gama de suelos reconocidos, “existen los de tipo: expansivos, colapsables, blandos o sueltos, terrenos kársticos en yesos o calizas, terrenos variables en cuanto a composición y estado, rellenos antrópicos con espesores superiores a 3 m, terrenos en zonas susceptibles de sufrir deslizamientos, rocas volcánicas en coladas delgadas o con cavidades, terrenos con desnivel superior a 15°, como también hay suelos residuales y marismas”. (Forteza, 2007)

### **1.2.1. Suelos Rocosos**

En cualquier tipo de terreno, subyacen materiales rocosos que se clasifican atendiendo su integridad y capacidad portante en minerales, suelos granulares y suelos finos, que se les da el

nombre de rocas, con lo que se define aquellos tipos de suelo, capaces de soportar la carga de la obra civil que se diseñe para ellos.

A efectos de diagramar una tabla que especifique las características del suelo rocoso con el que se pueda hallar en un momento dado, los investigadores establecen la siguiente tabla de valores, considerando el tipo de roca y las tensiones admisibles sobre el terreno que se requieran, como cota de apoyo para la cimentación de la obra que se piense construir.

Tabla 1 Tipos y condiciones admisibles de rocas

<b>Tipos y condiciones admisibles de rocas</b>	<b>Mpa (Kp/cm<sup>2</sup>)</b>
Rocas ígneas y metamórficas sanas (Granito, diorita, basalto, gneis)	10 (100)
Rocas metamórficas foliadas sanas (Esquistos, pizarras)	3 (30)
Rocas sedimentarias sanas. Pizarras cementadas, limolitas, areniscas, calizas sin karstificar, conglomerados cementados	1 a 4 (10 a 40)
Rocas arcillosas sanas	0,5 a 1 (5 a 10)
Rocas diaclasadas de cualquier tipo con espaciamiento de discontinuidades superior a 0,30m, excepto rocas arcillosas	1 (10)

**Fuente propia.**

Estos valores consignados, responden a una validación de la obra, sólo si esta se construye sobre roca no meteorizada con estratificación o foliación subhorizontal. De igual manera y de acuerdo con la experiencia, se recomienda que cuando se construya en terrenos macizos rocosos con discontinuidades inclinadas y sobre todo, en cercanías de taludes de suelo poroso, se hagan los estudios respectivos con mucha anterioridad, para entrar a prever colapsos en la obra, que puedan cobrar vidas o retrasos y altos costos en la misma.

Al respecto, deberían entrar a considerarse otras técnicas de construcción, cuando en la ejecución de una obra relacionada con la construcción de un muro mecánicamente estabilizado, se hallen rocas diaclasadas, “ya que estas se caracterizan por estar decolorada en la pared y su meteorización empieza a penetrar hacia el interior de la roca, lo que hace que estas presenten discontinuidades haciéndola notablemente más débil en la pared que en la roca sana, independientemente de que este material débil represente menos del 50% del total”. (García López, 2009)

De otra parte, no sobra recomendar que se ponga especial atención a las rocas calizas, areniscas y rocas pizarrosas con separaciones pequeñas entre los planos de estratificación, así como las demás que estén muy diaclasadas o meteorizadas, ya que, por su fragilidad y contextura, este tipo de rocas ameritan un estudio específico. “Se considera que existe una meteorización alta cuando más de la mitad del material se encuentra descompuesto a suelo” (García López, 2009)

### **1.2.2. Suelos Granulares**

La granulidad de un terreno, está constituido por materiales de origen sedimentario en los que el porcentaje de material fino (limos y arcillas) es inferior al 35% en peso. En ese sentido, los valores de tensión admisible que se consideran para este tipo de suelo, suponen que sean aptos para anchos de cimentación mayores o iguales a 1 m, cuyo nivel freático esté situado a una profundidad mayor, al ancho de la cimentación, siempre por debajo de ésta, tal como se recomienda en la siguiente tabla:

Tabla 2 Tipos y condiciones admisibles en suelos granulares

<b>Tipos y condiciones admisibles en suelos granulares</b>	<b>Mpa (Kp/cm<sup>2</sup>)</b>
Gravas y mezclas de arena y grava, muy densas	>0,6 (>6)
Gravas y mezclas de grava y arena, medianamente densas a densas	0,2 a 0,6 (2 a 6)
Gravas y mezclas de arena y grava, sueltas	<2(< 2)
Arena muy densa	>0,3 (>3)
Arena medianamente densa	0,1 a 0,3 (1 a 3)
Arena suelta	<1 (<1)

**Fuente propia.**

### 1.2.3. Suelos Finos

“Este tipo de suelos, están constituidos por materiales detríticos, aunque en ellos el porcentaje de elementos finos sea superior al 35% en peso”. (García López, 2009)

De acuerdo con la tabla que a continuación se consigna, las tensiones admisibles en este tipo de suelo son datos referenciales para aquellos suelos finos, caracterizados como de contextura normal, sean consolidados o ligeramente sobre consolidados, con lo cual, se logran resultados que permiten, si bien aprovechar las características de estos suelos - generalmente arcillosos y potencialmente expansivos - deben por recomendación expresa, tener cuidado especial en su ejecución.

Tabla 3 Tipos y condiciones admisibles en suelos granulares

<b>Tipos y condiciones admisibles en suelos granulares</b>	<b>Mpa (Kp/cm<sup>2</sup>)</b>
Gravas y mezclas de arena y grava, muy densas	>0,6 (>6)
Gravas y mezclas de grava y arena, medianamente densas a densas	0,2 a 0,6 (2 a 6)
Gravas y mezclas de arena y grava, sueltas	<2(< 2)
Arena muy densa	>0,3 (>3)
Arena medianamente densa	0,1 a 0,3 (1 a 3)
Arena suelta	<1 (<1)

**Fuente propia.**

### **1.3. Movimientos de Tierras**

Se cierra este capítulo, con una alusión manifiesta a lo que se conoce como movimiento de tierras, que es una actividad que en esencia, es lo que denota la resistencia del suelo, al relleno que se consigue a partir de las explanaciones.

Es de anotar, que el material de relleno, “aunque pueda con el tiempo dar lugar a suelos con buenas características resistentes, suele adolecer de una esponjosidad elevada lo que les proporciona unos altos valores de permeabilidad y compresibilidad y disminuye su capacidad para evitar la erosión interna debida a la escorrentía del agua”. (Diaz, 2011)

Generar movimiento de tierras en pro de la construcción de una obra civil, es una actividad tan pertinente como fundamental, para garantizar mediante explanación, la calidad de suelo donde se va a trabajar, máxime cuando el terreno que se adecúa ofrece un volumen elevado e importante porcentualmente, en aporte de arcillas.

Cuando la superficie del suelo contiene una cantidad de arcilla por encima de los valores de permeabilidad, se forma en la explanación realizada mediante el movimiento de tierras, terrones muy difíciles de disgregar por presión y que, por lo tanto, originan un porcentaje elevado de huecos. “La disgregación posterior por secado de los terrones tiene como consecuencia la aparición de importantes asientos de compresión.

Es por esta razón que, además de controlar la naturaleza de las tierras, tras el aporte del material, es necesario proceder al compactado del mismo”. (Diaz, 2011)

Finalmente, cabe decir, que las cimentaciones tienen como misión transmitir al terreno las cargas que soporta la estructura de la obra civil, que se piensa construir.

Para el caso de un muro de contención mecánicamente estabilizado, se usan dos tipos de cimentación: según el tipo de esfuerzo de compresión pura y según lo que se haya diseñado para que sea soportado por la estructura, de acuerdo con las tensiones de tracción.

Se deja claro, que en muros de carga, se pueden emplear las cimentaciones denominadas ciclópeas “en las que se emplean sillares de piedra complementadas mediante tierra amarrada sin armadura, aunque se recomienda la inclusión de un armado mínimo en su cara inferior con el fin de absorber las tensiones producidas por distintos factores, ya sea mediante atado, arriostamiento, asientos diferenciales o por defectos de hormigonado cuando sea haya acudido a esta técnica.” (Diaz, 2011)

## **Capítulo 2. Fundamentos Técnico- Prácticos que Soportan el Proceso de Montaje de Muros Mecánicamente Estabilizados.**

Los llamados muros mecánicamente estabilizados, responden a una técnica que desde 1964 en Francia, propugnara un reconocido constructor de nombre Henry Vidal, quien fuera quien la dio a conocer como la técnica de tierra armada y que consiste en la combinación de elementos lineales, sobre la base de un suelo granular que no presente cohesión alguna.

La idea central que soporta esta novedosa técnica, respecto a la técnica del hormigón, es que la primera cuenta con tres elementos principales que son:

1. Las escamas o paramentos.
2. Las tiras de refuerzo o armaduras.
3. Y el material granular ocupado para relleno.

En este sentido, los muros portantes de hormigón están compuestos por un sistema estructural que soporta el peso de carga de otras estructuras, como arcos, vigas, forjados, cubierta, entre otros, que no solo requieren más tiempo en su ejecución, sino que demandan más costo en su elaboración.

Bajo esta técnica, típicos en muros de tierra armada, las tiras de refuerzo presentan una longitud de entre 0.7 y 0.8 veces la altura del muro. Así el espaciamiento de las tiras será en forma horizontal de 1m y en forma vertical de 0.75 m. (Ver gráfica).

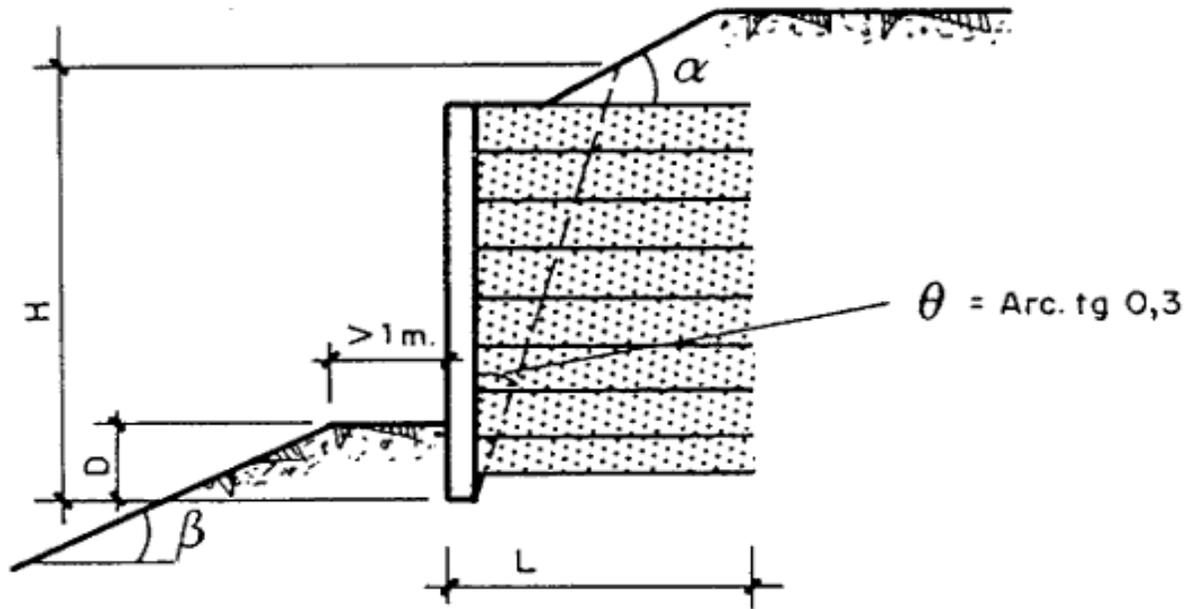


Figura 1 Diagrama

Con base en el anterior diagrama, se puede llegar a resultados como los que se pueden visualizar en la siguiente gráfica:



Figura 2 Resultado Diagrama

Fuente: Google Eart. 2011

De acuerdo con este tipo de técnica, la estabilidad de un muro de tierra armada se consigue mediante la fricción que se genera entre el material granular que se ocupa en el relleno y las tiras de refuerzo.

Ha sido ampliamente demostrado, que una estructura como ésta, si alcanza rangos de diseño óptimos, será capaz de soportarse en sí misma, como un cuerpo sólido, con lo cual evitaría el escape de material hacia los lados y en dirección de los refuerzos. Para el caso, la técnica de tierra armada al presentar la combinación adecuada de diferentes materiales, garantiza por sí sola, la estabilidad del talud o taludes que se intervienen.

Para que lo anterior suceda, es indispensable que el suelo granular se halle perfectamente compactado, a fin de que pueda soportar de manera eficiente la natural resistencia a la compresión y al cortante, lo que no impide que soporte simultáneamente fuerzas de tensión, sólo si estas fuerzas son estables y si no se tiene un confinamiento previo.

De otra parte, los refuerzos - generalmente de acero galvanizado - no presentan fuerzas de compresión ni de cortante, debido a su flexibilidad; “estos elementos lineales presentan una gran resistencia a la tensión y hacen que la masa de suelo sea confinada gracias a su fricción con el suelo y su rigidez tensional. Como consecuencia de los esfuerzos, las escamas necesitan soportar todos los esfuerzos locales generados en el suelo, en ciertas zonas y distancias de los refuerzos y debido a las debilidades asimétricas de la estructura” (Passe, 2000)

La experiencia en este tipo de construcciones ha demostrado, que no todos los refuerzos y las escamas, deben de soportar en sus uniones, los esfuerzos propios del suelo, sino también los esfuerzos generados por los equipos de construcción al realizarse la compactación cerca de las escamas.

Bajo estas condiciones, uno de los aspectos más importantes a destacar en la construcción de muros mecánicamente estables, es su gran flexibilidad, dada su facultad de soportar a nivel de su estructura, las deformaciones propias de su configuración, sin que se llegue a afectar significativamente la estructura que lo soporta.

“La naturaleza flexible de los muros de tierra armada hace que esta estructura sea adecuada para los casos en que por propia naturaleza del terreno se esperen asentamientos en la cimentación”. (Vera, 2004)



Figura 3 Detalle de las bandas y la placa de un muro de Tierra Armada

**Fuente:** <http://www.tierra-armada.com/>

## **2.1. Respuesta práctica de la técnica de la tierra armada, en muros mecánicamente estabilizados.**

### **2.2.1. Propiedades de este tipo de técnica.**

Considerando que la tierra armada es un sistema que posee características propias, y no sólo un sistema de anclaje, es por lo que se han venido realizando una serie de pruebas triaxiales con especímenes de arena reforzada, mediante tiras delgadas de geotextiles o aluminio, dirigidas a probar hasta la saciedad las bondades del sistema, buscando a su vez con ello, demostrar en la práctica, los alcances de los diferentes efectos ocasionados por diversos factores, tales como: la separación de las placas y la resistencia a la tensión de las placas, entre otras.

En este sentido, las pruebas aplicadas en este tipo de muros, se reforzaron siguiendo un modelo bidimensional, persiguiendo la idea, que con ello se podría demostrar, las diferencias existentes entre la tecnología habitual empleada y las estructuras de tierra amarrada, donde sus refuerzos se basan casi que exclusivamente, en tiras geotextiles o metálicas angostas.

A partir de este hallazgo procedimental, hubo investigadores de la talla de Bacot y Lareal, en 1971; y más adelante Yang y Singh en 1974 quienes por aparte, desarrollaron sendos experimentos, “basados en refuerzos que aumentaran considerablemente las propiedades mecánicas propias de la arena, que es la que permite al momento de una falla por ruptura, reforzar la cohesión que esta proporciona a la tensión que presentan los elementos, que actúan igualmente como refuerzos”.

De acuerdo con estos aportes, fueron Mohr- Coulomb (1976) quienes dieron a conocer la siguiente fórmula para explicar los esfuerzos en el plano de falla.

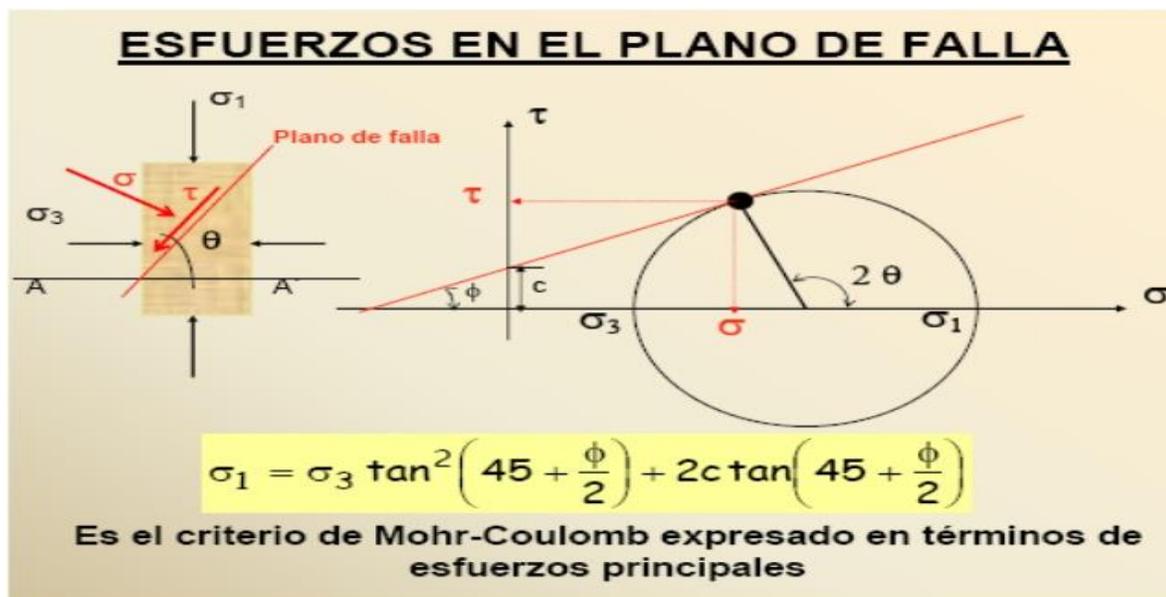


Figura 4 Esfuerzos en el plano de falla

**Fuente:** Deingenierías.com (sf)

**Donde:**

*RT = resistencia a la tensión del refuerzo, por metro lineal.*

*Que conlleva:*

*AH = separación vertical entre dos refuerzos.*

También en esta investigación, se pudo comprobar “que al romperse los refuerzos la resistencia al esfuerzo cortante de la arena, esta se moviliza totalmente. con lo que se pudo demostrar mediante este experimento, que mucho antes que se presente una falla de estas proporciones, la resistencia a la tensión, se moviliza mucho más que la resistencia al corte de la

arena, dando como resultado que el estado de esfuerzos dentro de la arena, se acerque mucho más al estado de reposo”

## **2.2. Consideraciones geotécnicas para muros mecánicamente estabilizados.**

Teniendo en cuenta las observaciones experimentales anteriores, se exponen a consideración los fenómenos geotécnicos que se deben considerar como primordiales en torno a un diseño correcto, cuando de muros mecánicamente estabilizados se trate, tomando en cuenta las características especificadas en el ítem anterior y que resumen en parte, las condiciones apropiadas de construcción en lo que tiene que ver con:

- La escogencia técnica de la ubicación del refuerzo en el muro.
- La evaluación perimetral local del terreno, como condición para determinar las capas de refuerzo necesarias, sólo para prevenir fallas en los refuerzos.
- Diseñar los niveles de rasantes necesarios, que permitan prever los sistemas de drenajes (interiores y exteriores) que contribuyan a que el relleno retenido funcione en pro de dicho sistema y con ello, se garantice la estabilidad del terreno.

Es muy importante tener en cuenta, que la forma inicial para el diseño de muros mecánicamente estabilizados, está dada “por el análisis de estabilidad que determine la previa selección del lugar a ser construido, pues de esta correcta ubicación, depende el refuerzo óptimo del muro., ya que este, deberá estar sometido a una revisión de estabilidad externa e interna, que

son los condicionantes para poder hablar de la estabilidad de los refuerzos previstos” (González, 2014)

Desde este punto de vista, “la estabilidad externa envuelve la estabilidad general de la masa de suelo estabilizada con refuerzos y el análisis de estabilidad interna consiste en una evaluación de las superficies de deslizamiento existentes dentro de la masa de suelo reforzado”. (González, 2014)

Con el fin de visualizar los alcances de este fundamento, se grafica a continuación los parámetros técnicos que deben ser tenidos en cuenta a la hora de construir un muro de contención mecánicamente estabilizado, teniendo en cuenta sus canales de drenaje, “en relación con sus niveles de rasantes previstos en el diseño inicial, que permitan evitar daños en el sistema de drenaje continuo por presiones hidrostáticas”. (González, 2014)

Este tipo de intervenciones y previsiones alrededor del tema, contribuye a que se sedimente un análisis más profundo, acerca de las posibles deformaciones que podrían presentarse en el diseño de muros de tierra amarrada, puesto que dichos análisis sirven para evaluar el comportamiento y funcionamiento anticipado de la estructura que se levante, respecto a los desplazamientos horizontales y verticales que la construcción como tal, pueda llegar a sufrir.

Bajo esta premisa, se comparte a continuación un diagrama, que explica el comportamiento de un nivel de rasante en función de los drenajes previstos en un relleno retenido.

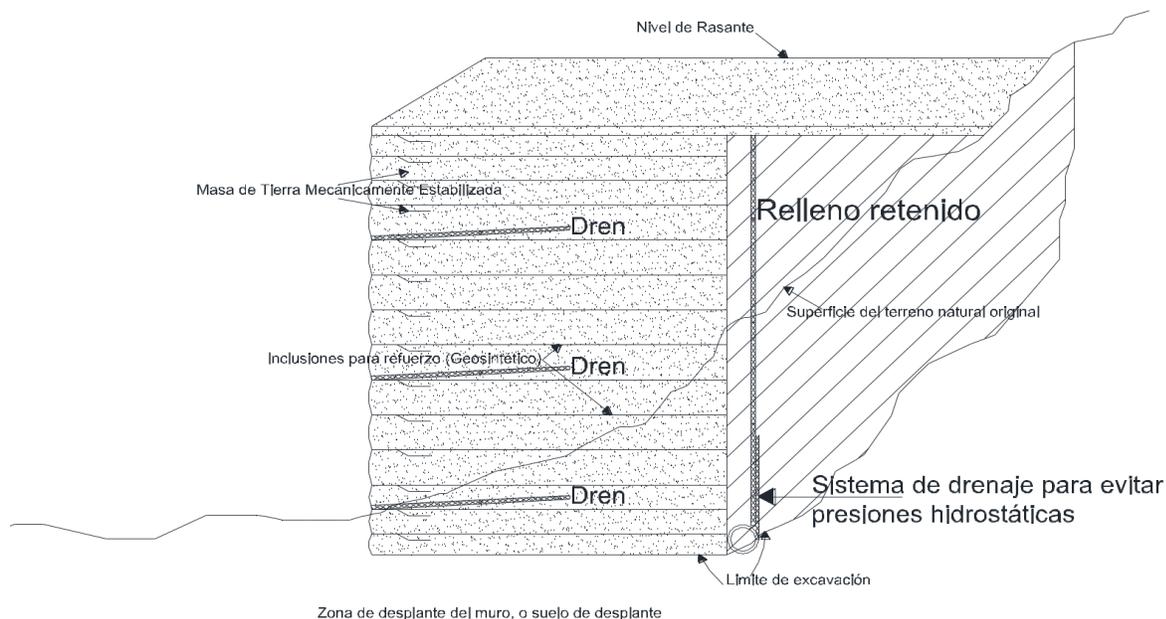


Figura 5 Diagrama de nivel rasante

**Fuente: Diagrama de nivel de rasantes. Ingenierosasociados.com.**

Generalmente estos análisis, están hechos solamente para aproximar o para asumir simplemente, que los factores de seguridad usuales, sean deducibles por fallas ocasionadas por error de diseño en el sistema de drenajes, ya que estos son los que generan estabilidad externa e interna, de acuerdo con el nivel de desfogue del relleno retenido y qué de operarse correctamente, serán la garantía para que las deformaciones que se ocasionen con su intervención, se mantengan dentro de los límites tolerables.

De acuerdo con esta apreciación, ha sido convencionalmente aceptado, que los análisis resultantes acerca de la deformación vertical del suelo, sean obtenidos por cálculos sencillos o básicos, que sirvan de asentamiento focal al proceso constructivo, “sin desconocer que hay que hacer un énfasis particular en aquellos asentamientos diferenciales tanto longitudinalmente, a lo

largo de la cara del muro, como transversalmente de la cara del muro hasta el final del volumen de suelo reforzado, a fin de evitar que todo lo logrado colapse, por no haber advertido la importancia del sistema de drenajes que deben acometerse en este tipo de obra civil” (Loli, 2017)

### **2.3. Aportes metodológicos para la construcción de muros de contención mecánicamente estabilizados, mediante el concurso de elementos geosintéticos.**

Cualquier profesional de la ingeniería civil y/o la Tecnología en obras Civiles, sabe que los suelos, al igual que el concreto, presentan una buena resistencia a la compresión, pero que son deficientes cuando se trata de asumir esfuerzos de tensión, por tal motivo, “cuando los suelos son combinados con elementos que sean capaces de absorber esfuerzos a tensión, como son los geotextiles o las geomallas, se pueden lograr estructuras de suelo reforzadas, sin que se menoscabe su calidad y resistencia” (ACE Geosynthetics EcoPark, 2010)

En este sentido, la metodología más indicada por su recurrencia, es el diseño de estructuras reforzadas mediante geosintéticos, técnica que generalmente se apoyan en tres fases o etapas de desarrollo, la primera de ellas, compromete el diseño, por cuanto es la que se relaciona con la estabilidad interna, ya que es allí, donde se establecen los espesores de capa y “se determina la longitud de refuerzo que mide la resistencia del mismo, con base en las especificaciones técnicas del geosintético, que es el elemento externo que contribuye a soportar finalmente, la carga de tensión de la obra en cuestión” (ACE Geosynthetics EcoPark, 2010)

La segunda fase del proceso, es la revisión exhaustiva de la estabilidad externa del terreno, acción esta que se cumple mediante un análisis de equilibrio límite, el mismo que se obtiene como factor de seguridad contra el deslizamiento, volteo y capacidad portante, para que actúe como garantía real ante los imponderables que suelen suceder en otras civiles de este tipo y que son fundamentales en la aplicación metodológica que se diseñe con ese fin.

La tercera etapa del diseño, se ocupa de atender y establecer el tipo de fachada del muro y las condiciones de drenaje y subdrenaje del suelo, a fin de condicionar el relleno retenido que lo haga apto para soportar la carga de tensión a la que será sometido, cuando el muro diseñado con esos fines, sea una obra tangible y en uso.

Así las cosas, este tipo de metodología tiene como meta funcional, el hacer que en las estructuras que se diseñen con ese propósito, no se presenten presiones hidrostáticas, logrando que la superficie de falla activa, sea una superficie plana definida por la metodología Rankine (1989)

En la construcción de muros mecánicamente estabilizados mediante geosintéticos el principio de diseño, “consiste en obtener unas capas de refuerzo con geotextiles que ofrezcan cierta resistencia, certeza obtenida mediante un análisis de equilibrio límite, de tal forma que se obtenga una masa de suelo internamente estabilizada” (Gere, 2002)

Esta masa de suelo estabilizada por la acción de su propio peso soporta empujes laterales. Esto se define como el cálculo de la estabilidad interna.

### 2.3.1. Estabilidad Interna.

Para conseguir la estabilidad interna, en un muro mecánicamente estabilizado, se debe determinar:

- La cantidad de refuerzo que permita soportar mediante tensión y anclaje los empujes de tierra.
- Determinación de la separación entre capas.
- Determinación de las diferentes longitudes ( $L_e$ ,  $L_r$ ,  $L_o$  y  $L_t$ ).

Lo anterior, conduce a que se deban conocer la suma de cálculos a realizar, con el fin de recabar los datos finales con los cuales se garantiza la calidad y seguridad de la obra a ejecutar.

Con base en los cálculos realizados, se podrá:

- Determinar las dimensiones preliminares del muro.
- Dimensionar la base del muro. En la mayoría de los casos se asume inicialmente como  $> 0.85 * \text{altura máxima}$ . Esta dimensión deberá ser revisada durante el análisis de estabilidad externa. –
- Desarrollar los diagramas de presión lateral de tierras para la sección reforzada. Estos se componen por la sumatoria de los valores obtenidos para el empuje lateral de tierras, por cargas muertas y cargas vivas y sísmicas.
- Calcular los máximos esfuerzos horizontales en cada capa de refuerzo.

#### Cálculo de empujes:

$$\sigma_h = \sigma_{hs} + \sigma_{hq} + \sigma_{hv}$$

$$\sigma_{hs} = K_a \gamma z$$

**Dónde:**

$\sigma_{hs}$ = Fuerza horizontal debido al suelo de relleno;  **$K_a$** = Coeficiente activo de presión de suelos.

$$K_a = \tan^2 (45 - \varphi / 2)$$

**Dónde:**

$\varphi$ = Angulo de fricción interna del suelo;  $\gamma$  = Peso unitario del suelo

**Empuje por sobrecarga:**

$$\sigma_{hq} = K_a q$$

**Dónde:**

**$\sigma_{hq}$** =Esfuerzo horizontal generado por las cargas muertas sobre el muro;  **$q = \gamma D$**

Sobrecarga sobre la superficie;  $\gamma$ = Peso unitario del suelo o del acopio ubicado sobre la corona del muro;  $D$ = Altura del relleno ubicado sobre la corona del muro.

**Determinación del espesor de capa:**

$$S_v = T_d / \sigma_h FS$$

**Dónde:**

$T_d$  = Tensión disponible del Geosintético;  **$\sigma_h$** = Empuje horizontal total a la profundidad considerada;  **$FS$** = Factor de seguridad global. (Usar entre 1.3 y 1.5).

### Cálculo de la tensión admisible del Geosintético:

$$T_d = TULT / (FSID * FSCR * FSDQ * FSDB)$$

### Dónde:

**d**= Tensión admisible del Geosintético; **TULT**= Resistencia a la tensión última o disponible dada por el fabricante. Ensayo Tira ancha. (**ASTM D 4595**); **FSID**= Factor de seguridad por daños en la instalación; **FSCR**= Factor de seguridad por Creep; **FSDQ**= Factor de seguridad por degradación química; **FSDB**= Factor de seguridad por degradación bacteriológica.

### Cálculo de la longitud del Geosintético:

$$L = L_e + L_r + L_o + S_v L_e =$$

### Longitud de empotramiento.

$$\text{Mínimo } 1 \text{ m } L_e = S_v \cdot \sigma_h \cdot FS / (2 \cdot \tau)$$

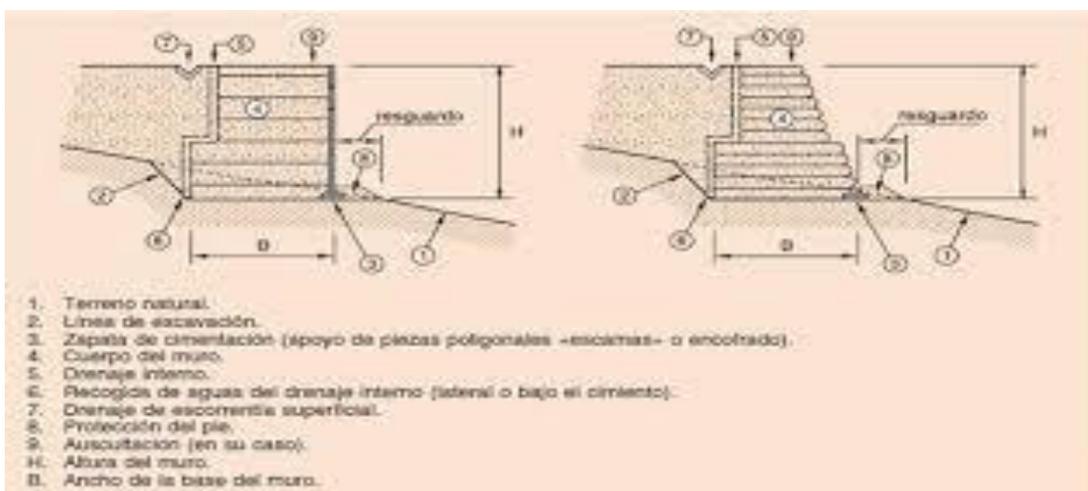


Figura 6 Guía de Cimentación en Obras de Carretera

**Fuente:** Guía de Cimentaciones en Obras de Carretera (2009).

### **2.3.2. Estabilidad Externa.**

La estabilidad externa de un terreno, es tan importante como la estabilidad interna que de él se consiga. Lograr equilibrar este binomio, es parte fundamental de la seguridad que se debe prever desde el diseño estructural, por cuanto la masa de suelo reforzada, es la materia prima con la cual se estabiliza las condiciones del terreno designado para la ejecución de la obra civil a iniciarse.

Dicha estabilidad se consigue auxiliariamente, cuando se emplea para ello, materiales geosintéticos, que son los que contribuyen a reforzar la zona, convirtiéndola en algo así, como una masa rígida, que preserva la masa del suelo contra factores de inseguridad que son los que propician deslizamientos, volteos y desbordan capacidad portante de la superficie de desplante.

Con la revisión de lo anterior, el constructor persigue garantizar la seguridad global de toda la estructura, debido a que estas, “al no contemplar empujes hidrostáticos, es necesario la integración de drenes que evacuen el agua con la mayor velocidad, por lo tanto, dadas las condiciones constructivas establecidas en este tipo de estructuras, fácilmente se puede proponer alguna configuración que capte el agua proveniente de los escurrimientos”. (Fabricio & Lizeth, 2015)

#### 2.4. Tipos de geosintéticos empleados en muros de contención mecánicamente estabilizados.

Los geosintéticos, es un nombre genérico con el que se designan materiales que se emplean en la construcción de obras civiles, son productos derivados del petróleo, que vienen siendo utilizados por la ingeniería geotecnia, para mejorar, cambiar o mantener las características del suelo con el que estos materiales interactúan.

Sus funciones son de múltiple utilidad, entre las que se reconocen las de:

- **Separación.** Que es una función que se logra mediante geosintéticos porosos y flexibles, prevenientes de la mezcla de dos estratos o materiales diferentes, evitando con ello, la contaminación entre sí, sin que se afecten las cualidades físicas y mecánicas de cada uno de los elementos que los componen.

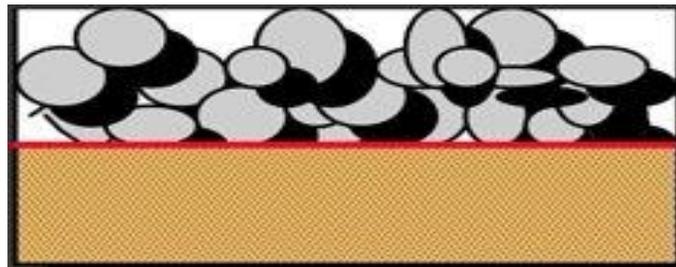


Figura 7 Separación molecular de geosintéticos

**Fuente: Soluciones ambientales.com.**

- **Filtración.** Dícese del proceso funcional por medio del cual, se hacen presentes materiales geosintéticos porosos, flexibles y permeables, en convergencia con agua y entre dos estratos o materiales diferentes, buscando mediante esta combinación, que se permita el paso de fluidos, evitando la migración de finos o que las partículas se mezclen o contaminen entre sí, aun estando sometidos a un trabajo de carga o compresión

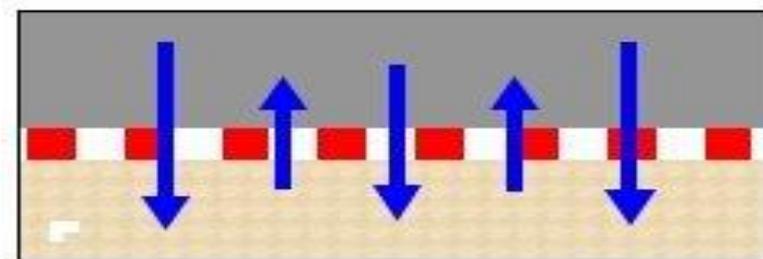


Figura 8 Paso de fluidos en dos sentidos

**Fuente: Soluciones ambientales.com.**

- **Drenado.** Es una función que se cumple mediante el drenado de fluidos a través de geosintéticos, lo que permite un régimen de flujo entre dos estratos, transportando fluidos o gases a través del plano del geosintético sometido a un trabajo de compresión o carga.

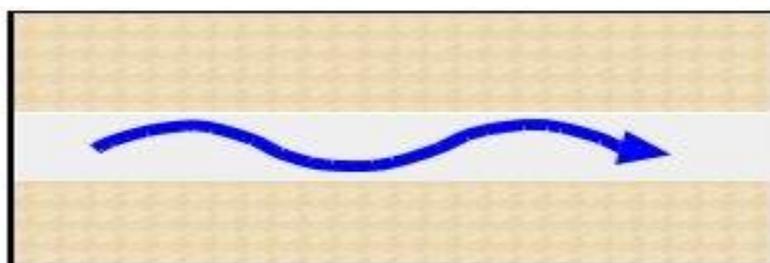


Figura 9 Paso de fluidos aun con compresión de carga

**Fuente: Soluciones ambientales.com.**

- **Drenado a través de refuerzo:** Mediante esta función, los geosintéticos actúan como aumentadores de la capacidad de carga de un terreno, teniendo como resultado una superficie más estable; esto se logra por medio de la distribución de cargas, que son el resultado de la interacción o fricción a la que son sometidos este tipo de materiales.

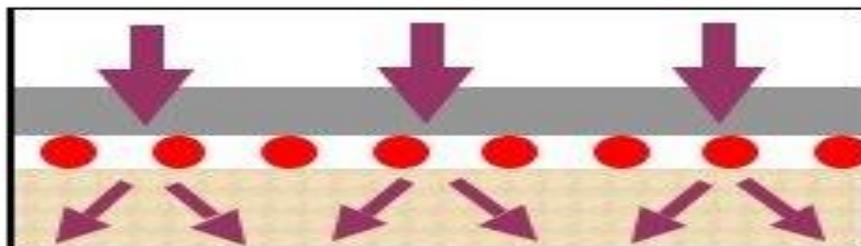


Figura 10 Función aumentadora de capacidad de carga

**Fuente: Soluciones ambientales.com.**

- **Protección.** Es la función de recibir, absorber y mitigar una fuerza ejercida sobre una superficie contra los elementos que puedan ocasionar un daño a ésta.

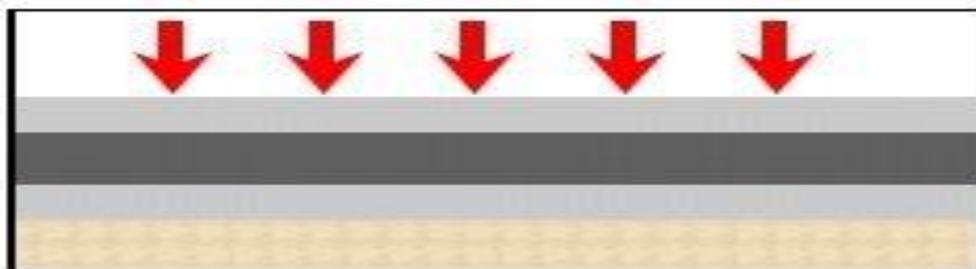


Figura 11 Función de absorción y mitigación de fuerza

**Fuente: Soluciones ambientales.com..**

**Impermeabilización.** Impermeabilizar es una función, por medio de la cual, se coloca una frontera o barrera impermeable, aislando dos estratos diferentes evitando la impregnación de uno con el otro

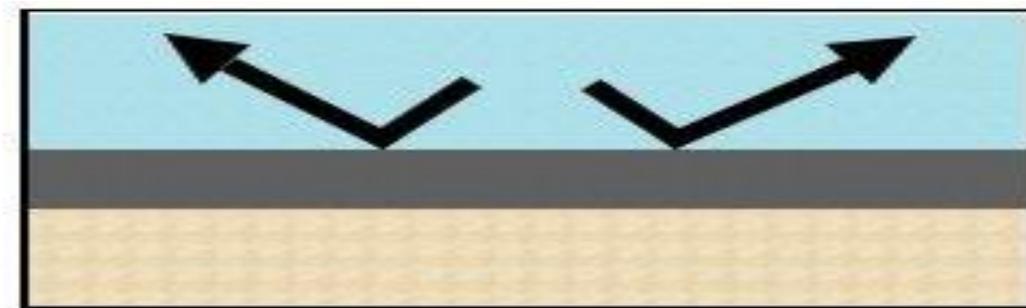


Figura 12 Función de absorción y aislamiento de fluidos

**Fuente: Soluciones ambientales.com.**

Por todo lo anterior, es indispensable que el constructor contemple en su metodología, que se debe tener en cuenta los procedimientos de compactación del suelo y hacer énfasis en el sistema de drenaje a utilizar.

En este sentido, el material más apropiado para ser utilizado en muros mecánicamente estabilizados mediante geosintéticos, sean los de tipo granular con un mínimo de finos, sin embargo, es posible utilizar materiales con una fracción granular menor a 50% de baja a mediana plasticidad.

El uso de estos materiales, requieren de un análisis completo de su composición y contextura, para determinar el comportamiento del sistema en suelo reforzado, en relación con el nivel de las deformaciones que se alcancen a largo plazo, de acuerdo con el uso o aplicación que se le vaya a dar a la obra construida.

Este tipo de metodologías, ha sido la fortaleza que ha llevado a los profesionales de la ingeniería civil y/o tecnólogos de obras civiles a poder demostrar las bondades de estas técnicas, como se establece en la siguiente gráfica:



Figura 13 Muros de contención mediante geosintéticos

**Fuente:.** [www.procesosconstructivos.com](http://www.procesosconstructivos.com)

## **Capítulo 3. Actividades Dentro del Proceso de Montaje de Muros Mecánicamente Estabilizados.**

### **3.1. Generalidades.**

Los muros mecánicamente estabilizados, como ya se ha explicado, consisten en la estabilización de un terraplén por medio de un sistema de refuerzo y paramento, en el que se utiliza un sin fin de recursos, que responden a la tecnología conocida como de tierra armada o amarrada, a partir de las cuales, se logra la interacción que se presenta entre estos elementos.

El fundamento de dicha técnica, “hace que el suelo al querer deslizarse, sea retenido por el elemento de refuerzo, el cual entra en tensión formando un bloque o macizo de tierra mecánicamente estabilizada” (Gómez, 2013)

A efectos de conseguir los resultados esperados, el proceso como tal, exige que se cumplan una serie de procesos, encaminados hacia la consecución de resultados tangibles dentro del montaje de muros mecánicamente estabilizados, para lo cual, se necesita que se observen los siguientes pasos:

1. Estudio de suelos y planificación de diseños según el tipo de estructura.
2. Prefabricación y consecución de elementos de montaje.
3. Construcción de vigas de nivelación y filtros.
4. Instalación de losas de arranque y bandas de estabilización de losas.

5. Rellenos según material y tipo de compactación (diseño)
6. Proceso de montaje del cuerpo del muro, losas estándar y de esquina.
7. Proceso de instalación de losas de coronación y terminados.
8. Certificación de estabilidad.
9. Utilización de geotextiles como mecanismo de impermeabilización del muro

Con base en este plan de actividades, a continuación, se describen y detallan sus alcances operacionales:

### **1. Estudio de suelos y planificación de diseños según el tipo de estructura.**

En ítems anteriores, se ha explicado que cada obra civil que se diseñe o ejecute - para el caso, muros mecánicamente estabilizados - deben tener su respectivo estudio de suelos y que, según el lugar y la función que vaya a tener el muro que se piense construir, se contemple previamente, no sólo la forma de la construcción, sino la profundidad de las dalas, zapatas o vigas de nivelación, teniendo en cuenta igualmente, el tipo de relleno y la granulometría requerida, esto con el fin de asegurar el éxito y la estabilidad de la obra para la cual fue programado el terreno seleccionado.

Antes de acometerse actividades concretas relacionadas con la construcción de muros mecánicamente estabilizados, se deben prever los estudios antelares al proyecto en sí mismo, a fin de tener una noción concreta del terreno y características del suelo, obtenidos mediante un sistema de conexión denominado “suelo-fundación”, encargado de adecuar la interacción entre el terreno y la cimentación, la que garantizará la estabilidad geotécnico y estructural del proyecto que se busca asumir.

De acuerdo con lo anterior, se deben especificar los procedimientos empleados para realizar la investigación de campo, teniendo en cuenta que los equipos que se lleguen a utilizar, respondan a la normativa aplicable (ASTM, COVENIN, etc.), con la cual, se puedan realizar el número de sondeos necesarios que permitan medir la profundidad de las excavaciones, analizar la cantidad de muestras necesarias que contribuyan a justificar el por qué se utilizan tales procedimientos en función de cumplir con los objetivos planteados a la hora de concebir la obra que se propone.

Para cumplir esos propósitos, el laboratorio juega un papel fundamental en todo proceso de investigación geotécnica. Las muestras obtenidas en campo, deben ser procesadas en un laboratorio de suelos, con la finalidad de obtener parámetros que serán utilizados por el ingeniero geotécnico para analizar el comportamiento del terreno y plantear soluciones al sistema “suelo-fundación”.

Estos estudios previos, así concebidos se grafican en un documento como el que se establece en la siguiente gráfica.

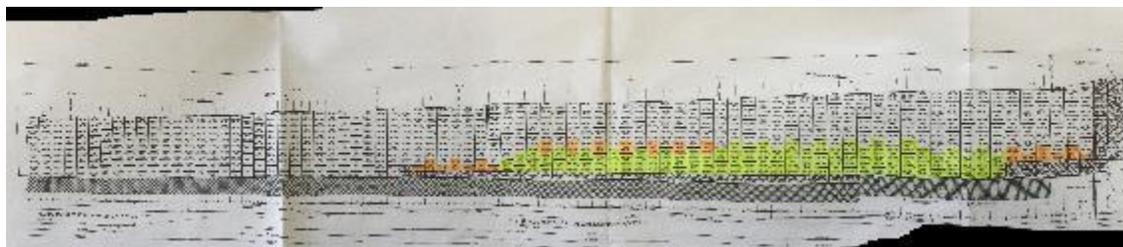


Figura 14 Estudio de suelos y planificación de diseños según el tipo de estructura

**Fuente: Propia de la investigación.**

## **2. Prefabricación y consecución de elementos de montaje.**

La prefabricación es el armado y fundido de las losas requeridas para la construcción del muro, esta se hace en concreto reforzado y con especificaciones según la resistencia de los elementos y el lugar de ubicación en el muro, ya que, a mayor altura, las losas de la parte inferior deberán tener mayor resistencia por el empuje del relleno y el peso del mismo muro, las mediciones de volumen de estas, se establecen en Kilonewtons que pueden ser 30-50-70 y hasta 100.

Tener claros los anteriores conceptos, significa para la obra misma y para el constructor, la garantía que el producto final gozará de la calidad esperada, toda vez que, el comportamiento de los suelos mecánicamente estabilizados, cuando se han basado en materiales híbridos de suelo y armadura, dependen en forma directa de las propiedades de sus componentes, lo que permite que se reconozcan variadas características de muros de acuerdo con la contextura de su estructura, sean estas extensibles, lo cual se dimensiona por la naturaleza de los materiales usados para su ejecución tales como: geosintéticos, geogrillas o geomallas o inextensibles, cuando los materiales usados o a usarse, tiene al acero como fórmula de soporte al diseño.

Los muros con armadura extensible son aquellos en los que la deformación en ruptura de su armadura, es mayor que la deformación de falla del suelo, para condiciones de operación similares. En este caso se establece como ejemplo palmario, las armaduras compuestas por geotextiles de polipropileno, polietileno o poliéster, armaduras de geogrillas de alta densidad de polipropileno, polietileno, armaduras de PVC u otros plásticos cuya granulometría sea fina de baja a media densidad.

Bajo estas características, los muros con armadura extensible responden a unas especificaciones técnicas basadas en geoceldas, que actúan como un sistema de retención de taludes, que funcionan restringiendo y reforzando el material de relleno produciendo una masa estructural uniforme y flexible.

Dicho sistema, resiste las presiones laterales y mantiene su integridad natural debido a las fuerzas de fricción producidas entre las capas sucesivas, a pesar de que pueda, en un momento determinado producir deformaciones significativas del subsuelo sin pérdida de la integridad estructural.

Si se llegare a utilizar las geoceldas como refuerzo de un terraplén, éstas aumentarían su resistencia al corte y a su rigidez, debido a la oposición de las paredes de las celdas adyacentes y a la interacción de la fricción entre el material de relleno y las paredes que la circundan y la determinan.

Debe tenerse en cuenta que bajo cargas específicas, el sistema genera importantes fuerzas de confinamiento lateral y de fricción entre las paredes de las celdas y el suelo. Entre los usos más comunes que se le han dado a este método es sin duda la utilización como estabilizante de base de pavimento, muros de contención, protección de canales y control de erosión.

Así las cosas, se establecen gráficamente los momentos pre-iniciales que estructuran la ejecución de un muro de contención mecánicamente estabilizados donde se da cuenta del proceso antelar convenido.

En las gráficas subsiguientes, se acotan los materiales y la disposición de las losas base, para la construcción muros de estas y con estas características.



Figura 15 Prefabricación y consecución de elementos de montaje

**Fuente: Propia de la investigación**



**Fuente: Propia de la investigación**

En las gráficas expuestas, se ve el prefabricado y almacenamiento de losas, aptas y dispuestas para ser colocadas al servicio de la estructura. Las losas, como material de cimentación, se empotran en bandas poliméricas, que son correas compuestas de nylon y polímeros que tiene determinada resistencia y deben ser instaladas en forma perpendicular a las

losas unidas por una confección y compactadas según el diseño, las cuales garantizan que las losas no se caigan, estas bandas tienen una vida útil de cien años y su resistencia es igualmente en Kilonewtons que pueden ser 30-50-70 y hasta 100, según la ubicación en el muro y el diseño del mismo, tal como ya se ha dicho.



Figura 16 Disposición y almacenaje de losas

**Fuente: Propia de la investigación.**

### **3. Construcción de vigas de nivelación y filtros.**

Las vigas de nivelación son la base donde se afirma la primera línea de montaje, esta no soportaría el peso del muro pues el muro tiene su soporte en las bandas que lo fijan al relleno por tal motivo estas son de dimensiones que oscilan entre treinta o cuarenta cm, sin embargo, topográficamente deben estar perfectamente niveladas y alineadas para que la línea de montaje de arranque quede perfecta.



Figura 17 Construcción de vigas de nivelación y filtros

**Fuente Propia:**

Los filtros conducen la saturación del agua fuera del muro para mantener la estabilidad del mismo. Pueden ser tipo francés, utilizando material triturado y geotextil, con tubería igualmente perforada.



En construcción de vigas y nivelación de filtros, hay que tener en cuenta que de acuerdo con los diseños estructurales que se establezcan para el muro que se aspira a levantar, dependen la flexibilidad y funcionamiento satisfactorio del muro mecánicamente estabilizado como tal.

Buenas vigas, levantadas con las dimensiones apropiadas de acuerdo con los cálculos de soporte y carga, sumado a los niveles y filtros adecuados, garantizan los factores de seguridad, con lo cual, se evitarían las fallas externas, pues estas, en algunos casos son menores que los usados para muros hechos en concreto reforzado o en muros de gravedad.

Cuando no se ha previsto lo anterior, estos mecanismos de falla incluyen: deslizamiento en la base, volteo del muro debido a la mala ubicación en el análisis de todas las fuerzas resultantes, la falta de capacidad de carga del suelo de desplante que provoca un asentamiento vertical, y la falta de capacidad de soporte provocando un asentamiento rotacional, cuya culpabilidad del desastre sería del 70% para las vigas, en connivencia expresa con la nivelación del suelo y los drenajes acometidos como filtros de la estructura.

Ha sido demostrado, que por la flexibilidad que presenta los muros mecánicamente estabilizados, sea muy poco probable que se presente una falla por volteo; por lo tanto, el criterio para falla por volteo (máxima excentricidad permisible) está relacionado con el buen papel que cumplan las vigas de soporte, porque las mismas ayudan al control de la deformación lateral, debido a que contribuyen a limitar el margen de ladeo de la estructura, ofreciendo finalmente una solidez, consecuente y satisfactoria con el conjunto del muro terminado.

#### 4. Instalación de losas de arranque y bandas de estabilización de losas.

Las losas de arranque se deben intercalar entre dos dimensiones para asegurar el intercalado del muro, debe ser una grande y una mediana según el diseño, con esto aseguramos la secuencia de montaje, esta debe estar sobre la línea de topografía y con la separación según diseño.



Figura 18 Instalación de losas de arranque y bandas de estabilización de losas

Después de la instalación de las losas se deben hacer los rellenos, estos deben ser hasta la ubicación de las conexiones de las líneas de refuerzo, estas deben estar separadas normalmente entre 75cm, igualmente los rellenos deben tener el espesor según diseño el cual garantice la compactación adecuada, las bandas poliméricas se tejen de tal forma que garanticen la sujeción de las losas y el terreno, conservando la distancia que el diseño diga; las bandas funcionan por fricción la cual después de compactadas evitan el arrancamiento debido a la acción de la fuerza del terreno compactado sobre la superficie de la misma.

## 5. Rellenos según material y tipo de compactación (diseño)

Cumplidos los protocolos de construcción, previa consulta de los diseños respectivos, se procede a preparar el terreno para lo que técnicamente se conoce como el relleno. Siendo esta parte, un complemento inexorable en la ejecución del muro.

Los rellenos se clasifican en arena (Tipo I), material de recebo (Tipo II), material proveniente de la excavación (Tipo III), sub-base para pavimentos (Tipo IV), zahorra (Tipo V), triturado (Tipo VI), base para pavimentos (Tipo VII), rellenos en concreto, rellenos en Tipo Base Granular B-600, rellenos en Tipo Recebo Arenoso o Zahorra con cemento, rellenos en Tipo Piedra Rajón, suelo estabilizado con cal y suelo estabilizado con cal “in situ”, entre otros.

Para el relleno de muros mecánicamente estabilizados, se utilizan materiales que sean garantía de cohesión molecular, al igual como se aprecia en el siguiente diagrama, pensado para construcción de muros con geosintéticos.

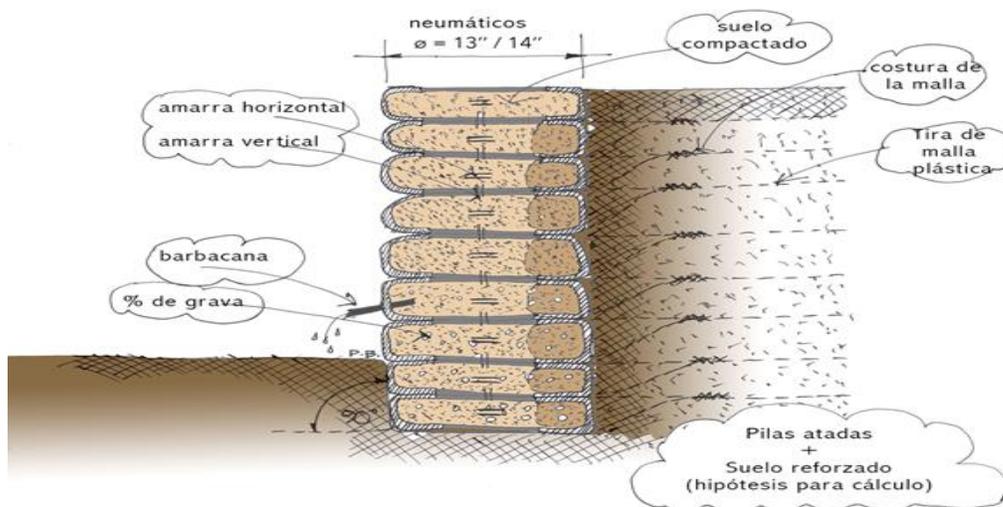


Figura 19 Rellenos según material y tipo de compactación (diseño)

Fuente: Scielo Conicyt

Para la mezcla de materiales y conformación de la calzada, deberá emplearse maquinaria especializada o operaciones de tipo manual, que no ocasionen desperfectos en la sub-base terminada o base en construcción.

En esta etapa del proceso, es recomendable que no se inicie la construcción de la base, hasta tanto no se observe que la sub-base se encuentre debidamente conformada.

Cumplida esta observación, se debe revisar que los materiales a su vez cumplan con las especificaciones técnicas adecuadas, para lo cual, se procederá a regar agua en la sub-base si fuere necesario.

El material para el relleno, deberá extenderse uniformemente en la superficie de intervención, a la que se le aplicará riego de mezclados sucesivos hasta alcanzar la humedad óptima. Una vez húmeda la mezcla, se iniciará su extendido en capas sucesivas que den espesores no mayores de 15 centímetros, compactados hasta obtener el espesor y sección del proyecto.

Previamente se procederá a delimitar el ancho donde se efectuará el extendido mediante estacas colocadas a distancias fijadas de acuerdo con las especificaciones del diseño o en últimas por el jefe interventor. Una vez se haya extendido la capa parcial de espesor uniforme, se iniciará la compactación con el equipo más apropiado. Durante la compactación se compensarán las pérdidas de humedad mediante oportunos riegos de agua.



Fuente: Imágenes propias de la investigación



Fuente: Imágenes propias de la investigación



Figura 20 Relleno en muro de acceso a estribo 2 del Puente Pumarejo, Barranquilla, Colombia



Figura 21 Compactando el relleno.

**Fuente: Propia.**

#### **6. Proceso de montaje del cuerpo del muro, losas estándar y de esquina.**

Dentro del proceso de montaje del cuerpo del muro a partir de losas estándar y de esquina, se requiere haber cumplido satisfactoriamente las etapas anteriores a fin de garantizar que la obra civil que se ejecuta, se dilate en el tiempo haciendo oneroso el proceso constructivo.

Con los muros mecánicamente estabilizados, se evita dentro del proceso del montaje, acudir a un tipo de construcción industrializada, porque además de que ya no tiene mucha demanda, incrementan enormemente los costos referentes a tiempo de ejecución y una demora que no corresponden a la celeridad en el mismo.

En este orden de ideas y en la medida que el muro se levanta, se instalan las losas que tienen una dimensión de 1.5m x 1.5m llamadas losas estándar, porque tienen un refuerzo según su ubicación, que garantizan la resistencia del muro en contraposición a las losas de esquina, que cuentan en la mayoría de los casos, con dimensiones diferentes al estándar, pero nunca superando los 1.5 m.



Figura 22 Colocación y montaje de losas estándar.

**Fuente: Propia.**



Figura 23 Colocando losas de esquina.

**Fuente: Propia.**

### 7. Proceso de instalación de losas de coronación y terminados.

La última línea de losas que se instalan son las de cierre o de coronación, estas pueden ser con pendiente, si es el diseño o lineales, estas losas en la parte superior son planas y solamente cuentan con las perforaciones de los tornillos de izaje, los que se prefabrican con dimensiones según diseño y son las últimas que se colocan.



Figura 24 Colocación y montaje de losas de coronación

**Fuente: Propia.**



Figura 25 Vista parcial del montaje de losas de coronación

**Fuente: Propia.**

### **8. Certificación de estabilidad.**

Por ultimo al terminar el muro, se debe hacer una inspección final y topográfica para determinar como quedó la pendiente y la verticalidad del muro, esta información es necesaria para poder dictaminar la estabilidad del muro finalizado, de acuerdo con parámetros de la empresa constructora y responsable de la obra.

A continuación, se grafican experiencias constructivas relacionados con obras civiles en muros mecánicamente estabilizados en los siguientes lugares:

### **Muros terminados.**



Figura 26 Muros Ramal. Barrio La Chinita. Puente Pumarejo. Barranquilla

**Fuente: Propia.**



Figura 27 Muro Pk 2+250 ruta al mar1 via medellin – Santa Fe de Antioquia

**Fuente: Propia.**



Figura 28 Muro pk 1+500 ruta al mar1 via Medellin – santa fe de Antioquia

**Fuente: Propia.**



Figura 29 Muro pk 6+700 ruta al mar1 via Medellin – santa fe de Antioquia

**Fuente: Propia.**



Figura 30 Muro pk 23+920 ruta al mar1 via Medellin – santa fe de Antioquia

**Fuente: Propia.**



Figura 31 Muro pk 23+930 ruta al mar1 via Medellin – santa fe de Antioquia

**Fuente: Propia.**

## **Capítulo 4. Compilación de Experiencias en Relación con la Construcción de Muros de Contención Mecánicamente Estabilizados y Conclusiones**

### **4.1. Generalidades.**

A través de todo lo expuesto en la presente monografía, queda claro que los muros mecánicamente estabilizados, responden a un sistema que se ha venido empleando con relativo éxito en la actualidad y que ha sido conocido con el nombre registrado de tierra armada o amarrada. “Se ha visto que, aunque el sistema tiene un buen desempeño, su principal problema radica en la determinación de la duración del refuerzo metálico dentro del suelo, ya que este se encuentra expuesto a un proceso permanente de corrosión” (Hernández Atencia, 2016)

Son muchas las experiencias que a este nivel se han registrado en Colombia y el mundo, acerca de los beneficios obtenidos con dicho sistema constructivo. Inclusive con otra serie de variables, que hablan del uso de neumáticos, de geotextiles con base en polímeros y de geosintéticos en general.

Es el propósito en este acápite, registrar estas experiencias, a fin de que actúen como antecedentes de la investigación realizada y sirvan de parámetro para medir los alcances de la experiencia personal aquí consignada.

Así las cosas, tenemos el proyecto titulado: “Estudio de la estabilidad de muros ecológicos con geotextiles mediante métodos tenso- deformacionales. técnica de diseño y predicción de fallos” de Ismael Salamanca Figueroa, presentado a la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Universidad de Sevilla (2016), quien plantea que si bien en la actualidad, los muros de tierra mecánicamente estabilizada son elementos estructurales de amplio uso, cuya finalidad es la contención de laderas y estabilización de taludes en las obras civiles; el constructor, está en libertad de contemplar otras variables para ofrecer los mismos resultados, con una predicción de fallos, más exactos.

El autor del proyecto, no desconoce que la base de estos muros consiste en la estabilización de un terraplén mediante la inclusión en su interior de bandas geosintéticas, que aumenten considerablemente la resistencia del muro a través de la interacción con el suelo.

Lo que dicho autor advierte, es que es sano que en este tipo de estructuras, aparezca vegetación en la cara exterior, motivo por el cual, se les identifique como muros ecológicos, porque dicha capa vegetal previene la corrosión por cuenta de los estragos del medioambiente.

La propuesta como tal, ha sido sensible a la aparición de nuevas alternativas a los materiales de uso más tradicional (mampostería, hormigón en masa y/o hormigón armado), lo que el autor traduce en un avance significativo, que ha permitido la incorporación de nuevos materiales para su diseño y la definición de nuevos métodos constructivos, “los cuales de hecho, brindan un menor costo en la construcción, menor gasto de materiales, menor impacto visual y mayor eficacia y compromiso con el medioambiente.” (Janbu, 2001)

Pese a todas sus bondades, el proyecto incluye serias advertencias, para que se tenga especial cuidado en su implementación en lugares no apropiados, debido a que aún los conocimientos sobre este tipo de técnica no están suficientemente extendidos en el portafolio de la ingeniería, porque siguen en estudio, los alcances que reglamenten la implementación de los llamados muros ecológicos. Aun así, son comunes los fallos en este tipo de muros, pues todavía no se ha ahondado en el estudio de ciertos aspectos significativos.

El aporte de este proyecto a la presente monografía, es que induce a pensar en la importancia de un marco normativo para los muros de tierra reforzada y se impulsa a determinar cuáles podrían ser los aspectos de diseño en los que podría haber un peligro inminente para insistir en su construcción.

Al final de cuentas, con este proyecto su autor pretende constituirse en un referente que permita a los constructores de muros, atender sus advertencias y realizar una guía con recomendaciones para futuros técnicos encargados en acometer obras de esta índole.

De otra parte, el proyecto: “Metodología de diseño de muros de contención construidos a base de geosintéticos. Ejemplos prácticos de la carretera Mitla – tehuantepec II”, presentado por Luis Daniel León Segura, a la Universidad Nacional Autónoma de México (2015), pone a consideración su tesis de que en cualquier obra civil que demande muros de contención, los mejores serán aquellos que usen la combinación de suelos propios de la ubicación de la estructura con material de origen sintético abarcando el tema del diseño mediante el análisis de

estados límite de falla y de servicio, así como del proceso constructivo y tomando en cuenta los aspectos del drenaje en la estructura.

El autor sugiere el uso de geosintéticos, porque en su pensar, el desarrollo de este tema, no solo es innovador, sino que se conoce muy poco acerca de los geosintéticos en México, debido a que este producto no ha tenido mucha difusión en este país.

Lo que se busca con esta idea, es que al conocer sus bondades y beneficios, los constructores e ingenieros lo popularicen como un complemento innovador para reforzar y mejorar el comportamiento mecánico de diversas estructuras como terraplenes y muros de contención. Este trabajo, según su autor, ha sido realizado para dar una aportación al lector interesado en el uso de esta “relativamente nueva” tecnología y así le permita consultar fuentes más adaptadas a sus necesidades.

Otra de las experiencias internacionales a registrarse, son las asumidas por el estudiante de ingeniería Luis Andrés Vera Oyarzun de la Universidad Austral de Chile, en el 2004, al presentar su tesis: “Muros de retención de suelos con sistema de tierra armada” a través de las cuales, se plantea cómo en las nuevas tecnologías de la construcción, mediante la técnica de la tierra armada, se presentan múltiples ventajas con respecto a los materiales tradicionales de la ingeniería civil, con la cual se consigue especialmente: “flexibilidad, gran resistencia a los esfuerzos estáticos y dinámicos, rapidez de ejecución, estética de las obras, considerable economía y obras de gran solidez y carácter definitivo en el tiempo” (Vera, 2004)

El autor de esta tesis, llega a la conclusión, cómo con la implementación de este sistema, se logra que el comportamiento de los suelos mecánicamente estabilizados, a través de materiales híbridos combinados con el suelo y su armadura, se pueden repotenciar ostensiblemente las propiedades de sus componentes. Esto bajo la idea, de qué al ser el suelo, lo que se limita mediante una determinada calidad, la naturaleza de la armadura, es lo que finalmente define el comportamiento del sistema, porque es su rigidez y la magnitud de los esfuerzos, de donde dependen las deformaciones que los muros en construcción sufran antes o después de terminados.

Supo el autor qué para lograr el efecto mecánico de estabilización basado en la técnica de tierra reforzada, se debería incorporar a un terraplén de suelo, elementos rugosos y/o con resaltes de acero de gran rigidez (inextensibles), para qué por roce o efecto pasivo, se pudiera incluir un componente horizontal de empuje, que permitiera conformar taludes verticales estables.

A nivel de Colombia, el estudio titulado: Proyecto de grado Practica Alaska de la localidad de Usme, Bogotá, presentado por Jonathan Fabricio Ortiz Reyes y Angie Lizeth Tapia Hernández a la Universidad Católica de Colombia en 2019, parte de su convencimiento de que, en la ingeniería Civil, lo más importante es la contribución que se pueda hacer a las comunidades vulnerables, con el fin de brindar un desarrollo social y económico.

La idea de los autores ha sido la de aportar otra visión de apoyo que se enfoque hacia el crecimiento en cobertura de estas gestiones constructivas, sin que sea de especial interés la

utilidad económica, sino la ayuda a la habitabilidad y calidad de vida de una población en niveles de pobreza extrema, como es el caso que se ilustra en el presente proyecto.

Los autores, como ingenieros con alta sensibilidad social, comprendieron qué si bien las estructuras de contención son muy comunes y de gran importancia para la defensa de edificaciones, eso no exime a las zonas vulnerables de riesgos de deslizamiento. Para esta zona en particular, las diferentes estructuras de contención diseñadas, respondieron al comportamiento y a la respuesta de la carga estática y sísmica, como acto reflejo de las restricciones cinemáticas asignadas sobre esta, teniendo en cuenta su rigidez.

En la ejecución de la obra, se tuvo en cuenta que los muros de contención de gravedad, fueran muros que dependieran de su propio peso para retener el suelo y fueran típicamente de menor altura. Con esta experiencia, los autores dedujeron que en cambio, los muros de contención reforzados son muros que usan algún tipo de ayuda para dar más resistencia a la estructura de la pared de contención, mejorando así su capacidad para retener los suelos que se encuentran detrás de ella.

De hecho, la obra realizada tuvo en cuenta el segundo argumento, porque por encima de cualquier consideración, era muy importante diseñar un muro con la garantía, no solo de su correcta estabilización, sino la de una prolongación de su uso en el tiempo, al mismo tiempo, que permitiera obtener óptimos resultados, mediante la minimización de costos.

En el Departamento del Valle del Cauca, la experiencia académica de los estudiantes: José Guillermo Cárdenas Fernández Andrés Felipe Osorio Morales, quienes para graduarse de Ingenieros Civiles en la Universidad del Valle en el 2011 presentaron la tesis: “Análisis de la factibilidad técnico económica de un sistema de anclaje para muros en tierra armada.” plantearon que generalmente cuando se propone estabilizar un talud de tierra, el sistema estructural utilizado con más frecuencia es el de muros de contención en voladizo.

Si bien este sistema funciona adecuadamente para la mayoría de los casos cuando se utiliza un muro en voladizo de gran altura, este en sí mismo, tiene una desventaja muy grande, sobre todo en términos económicos, debido a diversos factores, ya que, por diseño, la cuantía de refuerzo del muro es alta y el tamaño de los elementos de la base es también bastante grande, puesto que un muro de esta naturaleza, se diseña en voladizo y dado su diseño, el único apoyo que tendría dicho muro, sería en su propia base. Otro factor que aumenta su costo, corresponde a la mano de obra, debido a que el armado y encofrado de este, es un proceso un poco más demorado.

Según estos autores, los muros de tierra armada están compuestos básicamente por refuerzos metálicos o geosintéticos que se extienden dentro del suelo de refuerzo, Estos paneles de concreto independientemente están reforzados internamente por varillas de acero o mallas electro soldadas en dos direcciones, en las dos caras del panel. Para conectar el panel con el refuerzo embebido en la tierra, esta conexión se hace mediante un gancho en forma de garfio que se coloca para que quede sujeto al panel cuando este ya ha sido fundido.

En términos generales el foco de estudio de esta investigación, fue la evaluación preliminar de la importancia de los muros de contención de tierra amarrada, mediante un sistema de panel-refuerzo en condición de carga a través de un modelo no convencional de gancho a tracción.

El objetivo principal de este trabajo fue demostrar que el sistema de anclaje utilizado en las muestras como una tecnología local podía ser confiable para su uso.

## Capítulo 5. Conclusiones

El diseño de un muro mecánicamente estabilizado mediante el concurso de geosintéticos o geotextiles, ha sido el norte de la presente monografía buscando condensar en ella, las múltiples soluciones que se le atribuyen al sistema de tierra amarrada, cuyos beneficios como estructura de solidez y larga duración, no se discuten.

A lo largo de la exposición de motivos, se pudo establecer que la construcción de una estructura estabilizada da lugar a muchos beneficios estructurales y económicos, sin embargo, el diseño y construcción de muros, con materiales geosintéticos y geotextiles en las terraplenes y taludes nacionales y extranjeros, han dado la suficiente carga de prueba, para derrotar el escepticismo de algunos profesionales de la ingeniería y/o Tecnólogos en Obras civiles que se empeñan en incorporar esta técnica hartamente probada, todo aquello que tenga que ver con economía, celeridad y garantía de perseverancia en el tiempo.

De otra parte, los muros de contención reforzados con geotextiles, se han convertido mundialmente en una alternativa de construcción frente a los muros de concreto reforzado y a los terraplenes conformados naturalmente.

Está demostrado, “que esta ventaja se repotencia cuando hay deficiencias en la capacidad portante del suelo de fundación o cuando las condiciones geométricas de la sección del terreno, no permiten que las zonas de relleno sean realizadas a un ángulo igual o menor al de reposo natural del suelo de relleno” (Trujillo, 2016)

En este sentido, incorporar a la práctica la hechura de muros de contención mecánicamente estabilizados, es una intención que se superpone a la tendencia de querer construirlos mediante las técnicas convencionales de ejecución, si se tienen en cuenta todos los valores agregados que significa simplificar la metodología, cuando se sabe, que hay alternativas más económicas, rápidas y garantistas de buen uso y longevidad en el servicio, al tiempo que su ejecución en sí mismo, no demanda mano de obra calificada, tanto para la instalación de los materiales geosintético y/o geotextiles, como para hacer finalmente el montaje diseñado.

Con esta propuesta, los autores de la misma, quisieron exponer una metodología que simplificara las diferentes complejidades que se suscitan a la hora del diseño y ejecución de muros mecánicamente estabilizados, poniendo a disposición experiencias personales y ajenas que sirvieran para controvertir puntos de vista relacionados con los que se derivan de la construcción de este tipo de muros, bajo métodos convencionales y que puedan resultar interesantes, para dimensionar lo que aquí se propone.

De acuerdo con lo anterior, se concluye que en cuestión de taludes, uno de los elementos que más los hace fallar es el agua y la erosión, lo que significa que un constructor técnicamente entrenado, sabrá que en este tipo de obras se deben crear buenas condiciones para las obras auxiliares, para evitar con conocimiento de causa, que la acción constante y nociva de los elementos referenciados, se constituyan en refuerzos de cargas que actúen sobre el talud hasta debilitarlo provocando por ende, daños que deberán ser manejados de acuerdo con el grado de severidad del desperfecto geológico causado, siempre y cuando los materiales empleados en la

ejecución de la obra, haya sido sometidos a las pruebas de calidad y resistencia, que solo un buen laboratorio de suelos pueda certificar.

Además de las señaladas previsiones, para que un talud proclive de ser fortificado mediante la construcción de un muro mecánicamente estabilizado, se debe utilizar el equipo correcto y específico, de modo que los buenos materiales sean respaldados también, por óptimos métodos operativos.

Por lo anterior, también se concluye que los geosintéticos y/o geotextiles utilizados en el levantamiento de este tipo de muros, si bien son soluciones no sólo estructurales, si no de hecho, sumamente económicas, el ideal que se persigue, es que quien construya, tenga un dominio pleno en este tipo de obras civiles.

A lo largo de esta exposición de motivos, se pudo aludir cómo los geosintéticos y/geotextiles refuerzan internamente la masa del suelo, permitiendo el incremento del factor de seguridad contra la falla.

Es de esta manera, cómo el geotextil por ejemplo, se convierte con autonomía propia, como un elemento adherente que une los esfuerzos de tensión y puede sustituir a los elementos de concreto ciclópeo o reforzado.

Los geosintéticos y/o geotextiles independientemente de la naturaleza química de su composición, son los que terminan asumiendo las fuerzas de tensión en el suelo reforzado y permiten un refuerzo de tipo mecánico dentro de la masa del mismo.

Tal como quedó condensado en el capítulo tercero de esta monografía, se demostró mediante algunas fórmulas de cálculo, cómo en la mecánica de suelos, se puede comprobar la efectividad de la metodología empleada, “a través de una evaluación previa sobre la estabilidad de la estructura, con una simple revisión o análisis de condición límite, dando el mecanismo cinemático de falla y determinando las fuerzas que lo produce” (Luque, Javier. (2015)

Dentro de esta línea de exposición, se pudo reconocer igualmente, la influencia de los geosintéticos y geotextiles en las experiencias ajenas ya referenciadas mediante análisis de bibliografías, donde se alude al cómo este tipo de materiales poseen una alta resistencia a la tensión y aportan una fricción con el suelo, disminuyendo las fuerzas que causan la falla y cómo ayudan a mejorar la resistencia de todo el sistema, ya sea utilizando para el efecto, el método de Mohr o la teoría de Rankine, sabiendo de antemano, que uno de los tipos de obras más comunes dentro de la ingeniería y/o tecnología de obras civiles ha sido la construcción de muros de contención, bien sea para la conservación de las dimensiones de la banca o contención de suelos en deslizamientos.

Nadie desconoce el imperio de la tradición en sistemas constructivos donde por centurias se han venido utilizando muros de contención por gravedad que absorben las presiones horizontales gracias a su gran masa.

Tal como se explicó en el capítulo segundo de la presente monografía, el poder acceder a otro tipo de visión constructiva en relación con los muros de contención mecánicamente estabilizados, se debió indudablemente al nuevo enfoque aportado por el ingeniero francés Henry Vidal, que como ya se dijo, consistió en “la inclusión de una serie de tiras metálicas, amarradas a unos elementos externos que componían la cara del muro, hasta una determinada longitud dentro del relleno utilizado, para conformar así la masa de contención”. (Vidal, 1996)

Con el advenimiento de nuevos materiales que pueden soportar las condiciones de humedad y de acidez o alcalinidad dentro del suelo, la introducción al sistema de tierra amarrada de mantos sintéticos tales como los geotextiles, ha hecho que se refuercen las condiciones de carga, que morigeran las características mecánicas que estos poseen, como su resistencia a la tensión y garantizando de paso la calidad de sustentación de carga de la estructura.

Finalmente, podría decirse que el mejor mantenimiento que existe para muros de contención mecánicamente estabilizados, bajo la técnica de geosintéticos y/o geotextiles, es el preventivo, pues son los que advierten los hipotéticos daños o fallas en un talud, al tiempo que evitan gastos superfluos, tanto en lo económico, como en recursos humanos, lo que se traduce simultáneamente en riesgos materiales o en vidas humanas, que lleven a la debacle la obra ejecutada.

## Referencias

- AASHTO. (2007). American Association of State Highway and Transportation. .
- ACE Geosynthetics EcoPark. (2010). ¿Qué son los Geosintéticos? Taichung Taiwán:. Obtenido de <http://acegeosyntheticsecopark.com/es/geosynthetics#Geobloque%20%20&%>
- Acevedo, A. B. (2012). Criterios sismológicos para seleccionar acelorogramas reales de la red nacional de acelerógrafos de Colombia para su uso en análisis dinámicos. Revista de la Escuela de Ingeniería de Antioquia(17), 57-70.
- AIS. (2010). Reglamento Colombiano de Construcción Sismo resistente NSR-10. Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. .
- Alonso, E. (1989). Métodos generales de equilibrio límite. En Corominas, J. (editor), “Estabilidad de Taludes y Laderas Naturales”, Monografía n° 3, Sociedad Española de Geomorfología, pp. 119–166.
- Bauzá C, J. D. (2016). Parámetros estructurales en muros de contención. . Anales: Universidad de Antioquia, Facultad de Ingeniería .
- Bielza, F. A. (2009). Elementos de refuerzos en materiales térreos. . Piura, Perú.: Universidad Panamericana.
- Braja, M. D. (2006). (5ta edición). California State Sacramento. “Ingeniería de cimentaciones” Thomson Learning.
- Díaz, J. S. (2011). Sistema de Estabilización de Taludes. Bucaramanga: Estructuras de contención flexible para el diseño de estaciones de metro. Revista Asoduis.
- Fabricio, O. r., & Lizeth, T. H. (2015). Muros de contencion: tipos, diseño, cargas y calculo. Trabajo de Grado. Bogotá: Universidad Católica de Colombia.

- Forteza, C. &. (2007). Muro de contención en suelo reforzado “Solución alternativa a un muro tradicional de hormigón”. Departamento Técnico - América T&S.
- García López, M. (2009). Manual de estabilidad de taludes. Instituto Nacional de Vías. .
- Gere, J. M. (2002). “Mecánica de materiales” quinta edición. Thomson Learning. Stanford University.
- Gómez, H. G. (2013). Escuela colombiana de ingeniería/ trabajo de grado/ civil metodología de diseño y cálculo estructural para muros de contención con contrafuertes en el trasdós, basados en un programa de cómputo.
- González, C. (2014). Sistemas de estabilización de taludes y laderas. . Obtenido de <http://www.terratest.es/docs/simposiotaludespt.pdf>
- Hernández Atencia, Y. &. (2016). Evaluación del riesgo asociado a vulnerabilidad física por taludes y laderas inestables en la microcuenca cay,. Ibagué, Tolima.: Universidad Cooperativa de Colombia.
- Janbu, B. M. (2001). Parámetros de cálculo de estabilidad de taludes. . Usa: Virginia University .
- Loli, E. (2017). “Estudio comparativo de costos entre muros de contención por el método convencional y por el método del suelo reforzado o con geomallas”. Universidad Nacional “Santiago Antúnez de Mayolo”.
- Passe, P. D. (2000). “Mechanically stabilized earth wall inspector’s handbook”.
- Trujillo, J. A. (2016). Presiones dinámicas en estructuras de contención. . Obtenido de <http://wilsonemi.com/containmentstructures/>
- Vera, L. A. (2004). Tesis sobre muros de retención de suelos con sistema de tierra armada. Obtenido de <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2004/bmfciv473m/doc/bmfciv473 m.pdf>

Vidal, H. (1996). "La terre Armée", Annales de l'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publiques, Francia, Julio-agosto.

# Apéndice

(Fotos de obra)

Apéndice A Fotos de los muros pk 23+920 y 23+930 durante el desarrollo de la obra desde el 10 de julio del 2020 hasta el 10 de octubre del 2020. En la obra Ruta al Mar I





