

**COMPORTAMIENTO Y EFICIENCIA DE TERRAZAS Y PANTALLAS  
CONSTRUIDAS EN GUADUA FRENTE AL CONTROL DE EROSIÓN DE  
SUELOS MEDIANTE MODELAMIENTO COMPUTACIONAL**

**JUAN CARLOS APONTE COSTILLA**

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS  
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
BOGOTÁ D.C.**

**2016**

**COMPORTAMIENTO Y EFICIENCIA DE TERRAZAS Y PANTALLAS  
CONSTRUIDAS EN GUADUA FRENTE AL CONTROL DE EROSIÓN DE  
SUELOS MEDIANTE MODELAMIENTO COMPUTACIONAL**

**JUAN CARLOS APONTE COSTILLA**

**TRABAJO DE GRADO  
Para optar al título de Ingeniero Civil**

**DIRECTOR: Ms. FERNEY OSWALDO PEÑA REY**

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS  
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
BOGOTÁ D.C.**

**2016**

## **DEDICATORIA**

A mis padres: Juan Aponte y María Costilla, hermanas: Daniela Aponte y Tatiana Aponte, que fueron el principal apoyo para lograr este título tan anhelado y son lo más importante en mi vida.

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Ingeniero Ferney Peña Rey que fue mi director y asesor de grado, gracias por el aporte de su conocimiento, dedicación y disponibilidad; por ser un guía en mi formación profesional desde que tuve el gusto de conocerlo.

A la Universidad Santo Tomás que me permitió formarme bajo su nombre y hoy me permite optar a tan alto título.

A Daniela Buitrago quien ha sido una gran amiga y me brindó su respaldo y ayuda en la realización de este trabajo.

## CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN .....	9
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	10
2. ANTECEDENTES .....	11
3. JUSTIFICACIÓN .....	12
4. OBJETIVOS .....	13
4.1 OBJETIVO GENERAL.....	13
4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	13
5. MARCO REFERENCIAL .....	14
5.1 TEÓRICO .....	14
5.2 CONCEPTUAL.....	14
5.3 HISTÓRICO (ESTADO DEL ARTE):.....	16
6. DISEÑO METODOLÓGICO .....	18
6.1 LOCALIZACIÓN.....	18
6.2 REFERENCIA DEL PROBLEMA .....	19
6.3 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN .....	20
6.3.1 Propiedades mecánicas de la guadua.....	21
6.3.2 Parámetros geotécnicos.....	21
6.3.3 Dimensiones de pantallas y terrazas.....	21
6.4 CLIMA.....	21
7. CARACTERIZACIÓN DE PARÁMETROS PARA EL DISEÑO .....	23
7.1 CARACTERIZACIÓN DE LA GUADUA.....	23
7.1.1 Propiedades mecánicas de la guadua.....	23
7.1.2 Coeficientes de modificación.....	24
7.2 CARECTERIZACIÓN DE VALORES PARA MODELACIÓN .....	27
7.2.1 Coeficientes de modificación.....	27
7.2.2 Módulo de elasticidad.....	29
7.2.3 Módulo de cortante.....	29
7.2.4 Densidad y peso específico.....	29

7.2.5 Coeficiente de Poisson.....	29
7.3 DEFINICIÓN DE PARÁMETROS DE RESISTENCIA.....	30
7.3.1 Esfuerzos admisibles para diseño .....	30
7.4 CARACTERIZACIÓN DE PARÁMETROS GEOTÉCNICOS .....	31
7.4.1 Caracterización de parámetros geotécnicos .....	32
7.4.2 Establecimiento de rangos geotécnicos para el desarrollo de tablas .....	35
8. DISEÑO DE TERRAZAS Y PANTALLAS .....	36
8.1 CALCULO DE DIMENSIONES .....	36
8.2 Modelación en SAP2000 .....	40
8.2.1 Definición de grilla de trabajo .....	41
8.2.2 Definición de material y sección .....	42
8.2.3 Asignación de apoyos .....	45
8.2.4 Definición de parámetros de carga.....	48
8.2.5 Asignación de cargas .....	48
8.2.6 Definición de Combinaciones .....	49
8.3 VERIFICACIÓN DE RESULTADOS .....	50
8.3.1 Verificación de deflexión.....	50
8.3.2 Verificación de cortante .....	52
8.3.3 Verificación de momentos .....	54
9. CONSOLIDACIÓN DE RESULTADOS.....	57
9.1 CONSIDERACIONES DE DISEÑO Y VERIFICACIÓN DE RESULTADOS ....	57
9.1.1 Propiedades mecánicas de la guadua mínimas .....	57
9.1.2 Deflexiones admisibles.....	57
9.1.3 Cortantes y momentos admisibles .....	57
9.2 VERIFICACIÓN DE RESULTADOS DE SITIOS CONSTRUIDOS .....	58
9.3 RESULTADOS de DISEÑO .....	60
9.3.1 Información para la interpretación de tablas de diseño .....	60
9.3.2 Tablas de diseño .....	61
9.4 VERIFICACIÓN DE APORTE AL TALUD.....	67
CONCLUSIONES.....	71
RECOMENDACIONES .....	73
BIBLIOGRAFÍA .....	74

## LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Esfuerzos admisibles $F_i$ (MPa), CH=12%.....	23
Tabla 2. Módulos de elasticidad, $E_i$ (MPa), CH=12%.....	24
Tabla 3. Coeficientes de modificación por duración de carga .....	25
Tabla 4. Coeficientes de modificación por contenido de humedad ( $C_m$ ) .....	25
Tabla 5. Coeficientes de modificación por temperatura ( $C_t$ ).....	26
Tabla 6. Valores de $C_c$ .....	26
Tabla 7. Coeficientes $C_L$ para diferentes relaciones d/b.....	27
Tabla 8. Parámetros SPT – Sitio 1 .....	32
Tabla 9. Caracterización geotécnica – Sitio 1 .....	33
Tabla 10. Parámetros SPT – Sitio 2.....	33
Tabla 11. Caracterización geotécnica – Sitio 2 .....	33
Tabla 12. Parámetros SPT – Sitio 3.....	34
Tabla 13. Caracterización geotécnica – Sitio 3 .....	34
Tabla 14. Parámetros SPT – Sitio 4.....	34
Tabla 15. Caracterización geotécnica – Sitio 4 .....	35
Tabla 16. Parámetros elásticos para varios tipos de suelo .....	35
Tabla 17. Tabulación de valores de empotramiento calculados.....	39
Tabla 18. Tabulación de valores de empotramiento calculados.....	39
Tabla 19. Consolidación de parámetros por sitio para verificar.....	40
Tabla 20. Diámetros y espesores según voladizo .....	40
Tabla 21. Deflexiones admisibles.....	51
Tabla 22. Verificación de deflexión.....	52
Tabla 23. Verificación de cortantes en postes verticales.....	54
Tabla 24. Verificación de cortantes en postes horizontales .....	54
Tabla 25. Verificación de momentos en postes verticales.....	56
Tabla 26. Verificación de momentos en postes horizontales.....	56
Tabla 27. Deflexiones admisibles.....	57
Tabla 28. Parámetros de cortantes y momentos admisibles.....	58
Tabla 29. Resultados sitio 1 .....	58
Tabla 30. Resultados sitio 2 .....	59
Tabla 31. Resultados sitio 3 .....	59
Tabla 32. Resultados sitio 4 .....	59
Tabla 33. Peso específico, $\gamma = 13 \text{ kN/m}^3$ y Elasticidad del suelo $E_s = 3 \text{ MPa}$ .....	61
Tabla 34. Peso específico, $\gamma = 13 \text{ kN/m}^3$ y Elasticidad del suelo $E_s = 12 \text{ MPa}$ .....	62
Tabla 35. Peso específico, $\gamma = 13 \text{ kN/m}^3$ y Elasticidad del suelo $E_s = 21 \text{ MPa}$ .....	62
Tabla 36. Peso específico, $\gamma = 15 \text{ kN/m}^3$ y Elasticidad del suelo $E_s = 3 \text{ MPa}$ .....	63
Tabla 37. Peso específico, $\gamma = 15 \text{ kN/m}^3$ y Elasticidad del suelo $E_s = 12 \text{ MPa}$ .....	63
Tabla 38. Peso específico, $\gamma = 15 \text{ kN/m}^3$ y Elasticidad del suelo $E_s = 21 \text{ MPa}$ .....	64
Tabla 39. Peso específico, $\gamma = 17 \text{ kN/m}^3$ y Elasticidad del suelo $E_s = 3 \text{ MPa}$ .....	64
Tabla 40. Peso específico, $\gamma = 17 \text{ kN/m}^3$ y Elasticidad del suelo $E_s = 12 \text{ MPa}$ .....	65

Tabla 41. Peso específico, $\gamma = 17 \text{ kN/m}^3$ y Elasticidad del suelo $E_s = 21 \text{ MPa}$ .....	65
Tabla 42. Peso específico, $\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$ y Elasticidad del suelo $E_s = 3 \text{ MPa}$ .....	66
Tabla 43. Peso específico, $\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$ y Elasticidad del suelo $E_s = 12 \text{ MPa}$ .....	66
Tabla 44. Peso específico, $\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$ y Elasticidad del suelo $E_s = 21 \text{ MPa}$ .....	67
Tabla 45. Factor de seguridad y probabilidad de falla – Sitio 2.....	69
Tabla 46. Factor de seguridad y probabilidad de falla – Sitio 3.....	69
Tabla 47. Factor de seguridad y probabilidad de falla – Sitio 4.....	70

## LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Terrazas .....	15
Figura 2. Pantalla .....	16
Figura 3. Ubicación de la localidad del Sumapaz.....	18
Figura 4. Localización zona del proyecto, San Juan del Sumapaz .....	19
Figura 5. Pérdida de banca de la vía.....	19
Figura 6. Deslizamientos de terrenos.....	20
Figura 7. Pérdida de talud .....	20
Figura 8. Humedad Relativa Anual.....	22
Figura 9. Temperatura media anual .....	22
Figura 10. Sección compuesta .....	27
Figura 11. Gráfico para medir el contenido de humedad de equilibrio .....	28
Figura 12. Tablestaca que penetra en suelo sin nivel freático .....	36
Figura 13. Nomenclatura de dimensiones .....	38
Figura 14. Grilla de trabajo.....	41
Figura 15. Definición del tipo de material .....	42
Figura 16. Asignación de parámetros al material de la guadua .....	43
Figura 17. Creación de la sección de la guadua .....	44
Figura 18. Visualización de la sección modelada.....	45
Figura 19. Asignación de Springs.....	47
Figura 20. Visualización de Springs asignados .....	47
Figura 21. Definición de patrones de carga.....	48
Figura 22. Distribución de empujes activos.....	48
Figura 23. Visualización de empujes asignados.....	49
Figura 24. Combinaciones.....	50
Figura 25. Deflexión en postes verticales.....	51
Figura 26. Resultados de cortante .....	52
Figura 27. Diagrama de cortante.....	53
Figura 28. Resultados de momentos.....	55
Figura 29. Diagrama de momento.....	55
Figura 30. Nomenclatura de dimensiones .....	60
Figura 31. Posición de deflexión, cortante y momento.....	61
Figura 32. Evaluación en condiciones naturales para el perfil 2-1, sitio 2 .....	68
Figura 33. Evaluación en condiciones críticas para perfil 2-1, sitio 2 .....	68

## INTRODUCCIÓN

La implementación de métodos de bioingeniería actualmente se ha convertido en alternativa de apoyo a problemáticas como la de erosión de suelos, dando posibles soluciones con el fin de no afectar demasiado la naturaleza, el entorno y el ambiente. La implementación de obras de bioingeniería construidas en guadua ha sido destacada como una solución presente en la localidad del Sumapaz - Bogotá, hasta el punto de ser la opción más favorable, debido a que esta no altera el paisaje y presenta una ventaja económica en comparación con las obras de ingeniería convencionales.

Actualmente, las obras de bioingeniería que se implementan en este lugar tienen diferentes componentes como lo son: trinchos, filtros, terrazas y pantallas. Este tipo de estructuras se han implementado en otras partes del país, con el fin de apoyar a las plantaciones que finalmente a largo plazo serán las encargadas de controlar la erosión de los suelos. Sin embargo, dichas construcciones no están sustentadas teóricamente. Por ende, no se corrobora la eficiencia y eficacia de estas, con referencia al comportamiento sobre el terreno en el cual se construyen; por lo cual el presente trabajo pretende evaluar el comportamiento que tienen las terrazas y pantallas con relación a los suelos a confinar.

Debido a que en el reglamento colombiano de construcción sismo resistente del 2010 cuenta con un capítulo dedicado a construcciones en madera y guadua, Se tomarán los parámetros físico – mecánicos para la modelación de los elementos y posterior verificación de su resistencia por solicitaciones a flexión, cortante y control de deflexión. Los parámetros geotécnicos que se requieran, serán tomados de estudios geotécnicos que se adelantaron en los sitios de construcción; la realización de la modelación se hará en un software de elementos finitos, con lo cual se garantice que el comportamiento encontrado allí, sea lo más cercano a la realidad. Como producto final, se elaborarán las conclusiones y recomendaciones necesarias que garanticen su funcionalidad y eficiencia, garantizando su duración mientras la vegetación que se planta en conjunto, empiece a interactuar totalmente con el terreno.

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Debido a la deforestación y retiro las capas vegetales en la localidad del Sumapaz (ciudad de Bogotá), se ha venido presentando erosión en los suelos que junto con las lluvias que son recurrentes en este lugar, tienen como consecuencia la saturación de estos. Todo en conjunto ha llegado a desembocar en la ocurrencia de derrumbes y deslizamientos que han afectado obras de infraestructura vial y viviendas. Para darle solución a este problema, la alcaldía de la localidad ha optado por implementar una técnica de bioingeniería como lo son los filtros vivos elaborados en guadua, para evacuar la escorrentía sub-superficial, evitando la saturación del suelo y confinando los cambios topográficos abruptos dispuestos en la zona. Adicionalmente, para controlar la velocidad del agua se dispone de estructuras disipadoras de energía, como trinchos de guadua que se ubican en el filtro principal, terrazas del mismo material para darle estabilidad al terreno y pantallas en zonas de escarpes secundarios y principales.

Puesto que la elaboración de las terrazas y muros pantalla son de construcción empírica y no tienen un sustento teórico, su utilización puede estar siendo sobrestimada, bajo las características mecánicas que ofrece la guadua. Ocasionando un problema adicional, ya que las estructuras no estarían en capacidad de soportar el terreno o, por el contrario, posiblemente sobredimensionadas generando gastos innecesarios y tiempo de más en la construcción.

Esta investigación tiene como propósito realizar la modelación en un software especializado de elementos finitos, el comportamiento de terrazas y pantallas con las propiedades mecánicas y físicas de la guadua, con el fin de ver su eficiencia debido al empuje generado por el suelo. Ahora bien, después de haber realizado todo este procedimiento y verificar los datos, se pretende establecer una serie de ábacos o tablas en las cuales se puedan relacionar las propiedades de los materiales y sus dimensiones con la de los suelos, para así generar una mayor efectividad en la construcción de obras de control y estabilización con guadua.

## 2. ANTECEDENTES

Acerca de las obras de bioingeniería que se han construido como método de mitigación de erosión en taludes, se tiene que se han adelantado varios proyectos en departamentos como el valle del Cauca y Antioquia.

Uno de los principales propulsores de este tipo de método como alternativa a la ingeniería tradicional, ha sido el Doctor Horacio Rivera, el cual fue el encargado de iniciar con este tipo de obras en el municipio de Argelia. Allí, se construyeron filtros vivos como forma de drenaje para el terreno, trinchos para controlar y disminuir la velocidad de la escorrentía que se presentara por precipitación, y vegetalización del terreno. Con estas obras que se implementaron, el Dr. Horacio Rivera relata que se obtuvieron resultados favorables en el control de la erosión de suelos y cárcavas remontante que eran provocadas por las corrientes de aguas generadas por la precipitación.

Por otro lado, en Antioquia este tipo de obras fueron adelantadas por el CIPAV y su principal encargada, la bióloga Zoraida Calle. Estas obras fueron implementadas en los municipios de Concordia y La Ceja; en estas Zoraida Calle hace énfasis en que las laderas a largo plazo son soportadas por la vegetalización, y que las obras dejan de ser protagonistas a largo plazo. También, resalta los beneficios económicos que en algunos casos se presentaron, ya que estas pueden llegar a ser hasta tres veces más económicos a las obras de ingeniería tradicional, aunque, en otras ocasiones el precio fue mayor debido al área que se intervino.

En la localidad de Sumapaz de Bogotá D.C., el fondo de desarrollo local de Sumapaz (FDLS) dentro de las metas que se estableció para la mitigación de problemas de remoción en masas, erosión, degradación de suelos, se ha establecido la ejecución de obras de bioingeniería elaboradas principalmente con guadua. El objeto que se planteó el FDLS es: Implementar modelos de bioingeniería y su ejecución para la restauración y recuperación de zonas con fenómenos de remoción en masa en sitios priorizados en la localidad de Sumapaz. Las primeras implementaciones de estos métodos se realizaron en zonas afectadas con deslizamientos, arrojando resultados favorables como producto de estas obras, las cuales estaban constituidas principalmente por filtros vivos, trinchos, disipadores y terrazas.

### 3. JUSTIFICACIÓN

En la localidad de Sumpaz en los últimos años ha incrementado la deforestación y la remoción de la capa vegetal, lo que ha llevado a tener grandes implicaciones en los suelos. Estos han perdido la capacidad de sostenerse por sí mismos, puesto que en su gran mayoría son limos y arcillas que tiene una cohesividad baja, lo cual al incrementar su peso por la retención de agua generada por procesos de precipitación trae como consecuencias la erosión de estos; si los problemas que se están generando no son controlados de forma adecuada y en el menor tiempo posible, este sigue aumentando hasta el punto de generar deslizamientos como ya se ha observado en algunos sectores. Existe un gran desconocimiento de la problemática ambiental relacionada con la erosión de los suelos, la cual ha afectado a muchas regiones del país, que en su gran mayoría no tiene recursos suficientes para adoptar soluciones de ingeniería tradicionales por su complejidad y de gran costo, por esta razón se han buscado soluciones de menor cuantía y amigables con el ambiente, lo cual ha llevado a la adopción de métodos de bioingeniería.

Con la implementación de proyectos de bioingeniería en diferentes partes del mundo y regiones del país, se ha demostrado que se pueden recuperar y controlar la erosión en los suelos en periodos de tiempo cortos. Logrando la creación de diferentes tipos de proyectos de bioingeniería adaptable a las necesidades y características del entorno. En Colombia principalmente se manejan estructuras construidas en guadua, en forma de filtros vivos los cuales evacuan el agua y controlan el nivel freático de los terrenos, no obstante, se ha visto la necesidad de implementar terrazas y pantallas, esto con la finalidad de disipar la energía que se genera en terrenos con altas pendientes.

Así pues, es como en la localidad del Sumapaz se han implementado estos métodos, pero al tener solo una idea general de su elaboración y puesta en marcha como construcciones de bioingeniería, se desconoce aún día, el éxito y/o funcionalidad de los mismos.

Es por todo lo anterior, que se requiere de un apoyo adicional (bajo un método de modelación) a los datos empíricos ya existentes, que demuestre la efectividad de estas construcciones con los materiales que se están empleando en el país y a fin de establecer su eficiencia en el control de erosión y deslizamientos.

## 4. OBJETIVOS

### 4.1 OBJETIVO GENERAL

Mostrar la efectividad de terrazas y pantallas construidas en guadua como un apoyo a la solución de la erosión de los suelos, que se determinara mediante el modelamiento de las estructuras en un software (SAP2000).

### 4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Establecer los diferentes parámetros físico-mecánicos de la guadua angustifolia Kunth necesarios para le modelamiento de las estructuras según lo establece la norma sismo resistente de Colombia NSR-10.
- Recopilar información sobre estudios de suelos de los sitios intervenidos y donde se presentarán futuras intervenciones, para establecer los parámetros de empuje que deberán soportar las estructuras.
- Modelar en un software de elementos finitos, terrazas y pantallas con las propiedades físico-mecánicas dispuestas en normatividad nacional aplicable, a fin de medir y cuantificar su funcionalidad bajo diferentes sollicitaciones de empujes generados por las características propias de los suelos de la zona. Bajo un análisis estático.
- Evaluar los resultados obtenidos mediante la modelación, y así, poder ver su efectividad para poder hacer sugerencias o realizar modificaciones a las estructuras en miras de obtener una mejor eficiencia.
- Elaboración de ábaco(s) o tabla(s) que relacione las propiedades de los suelos a confinar versus la eficiencia estructural de la contención basada en guadua en función de su profundidad de implantación.

## 5. MARCO REFERENCIAL

### 5.1 TEÓRICO

Los proyectos de bioingeniería consisten en la imitación de la naturaleza utilizando los recursos que esta ofrece. Lo que pretenden este tipo de proyectos es restablecer el equilibrio preexistente en las zonas que fueron afectadas por fenómenos naturales o como consecuencia de la intervención humana; además, en palabras de Rivera H. la bioingeniería es *“construir estructuras totalmente vivas ambientalmente amigables, usando diferentes partes de las plantas, principalmente raíces y tallos; que a través del tiempo se convierten en obras vivas cada vez más fuertes, que sirven de refuerzo, como drenajes hidráulicos y barreras para contener la erosión y los movimientos de masales”*.

La Norma Colombiana Sismo Resistente del 2010 (NSR-10) establece en el Título G en el capítulo G.12 los requisitos para el diseño estructural y sismo resistente de estructuras cuyo elemento principal de construcción sea el bambú guadua angustifolia Kunth. En este capítulo se puede encontrar las formas de determinar los requerimientos de resistencia para estructuras que se pretendan construir, además, de tener presentes los demás capítulos en caso de que la construcción lo requiera.

Los principales parámetros que demanda la NSR-10 son:

- La guadua sea de la especie angustifolia Kunth, la edad de cosecha se encuentre entre 4 y 6 años.
- El contenido de humedad debe ser igual a la humedad del lugar de la construcción.
- Adecuado tratamiento para preservación.

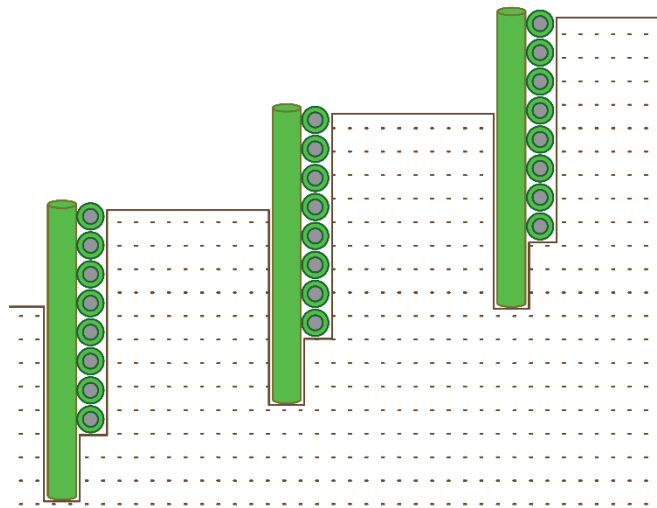
Ya que la guadua cumpla con los requisitos de calidad establecidos por la NSR-10 se pueden tomar los valores de esfuerzos admisibles establecidos en la Tabla G.12.7-1 y módulos de elasticidad que se encuentran en la Tabla G.12.7-2. Puesto que el propósito de este trabajo no es la determinación de las propiedades mediante ensayos, se tomarán los valores referidos, afectados por el contenido de humedad de la guadua que está ligado a las condiciones medioambientales en el sitio de construcción, siendo el límite de la norma del 12%, para lo cual se deberán ajustar con los valores según la Tabla G.12.7-5.

### 5.2 CONCEPTUAL

Las estructuras referentes al proyecto son las terrazas y las pantallas. Las primeras son estructuras de control de erosión que se construyen de manera perpendicular a la pendiente con el objetivo de formar balcones escalonados que luego se cubren con vegetación. Brindan estabilidad en la base de terrenos deleznales,

especialmente en taludes, derrumbes y negativos de carretera (Rivera 2006). La altura en las terrazas es muy importante y su empotramiento en las zanjas del terreno. La longitud de la terraza depende del relieve encontrado en el sector que se está estabilizando, esta altura se encuentra entre 0.50 m y 0.80 m, y se debe disponer de postes verticales con una separación de 0.70 m a 1.00 m, como soporte de una cortina de guaduas ubicadas horizontalmente, desde la base de la zanja construida para la consolidación de la terraza.

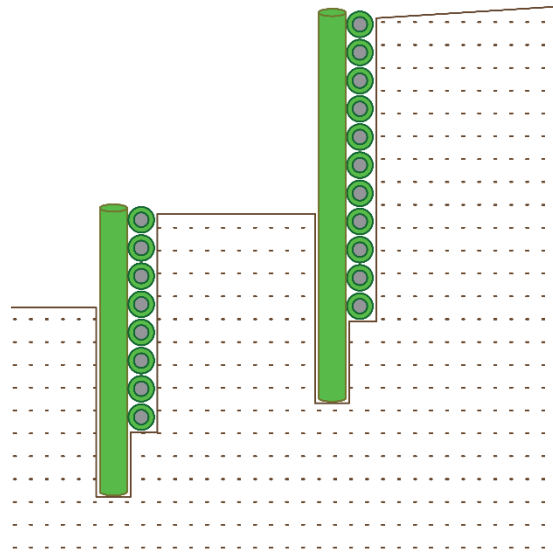
Figura 1. Terrazas



Fuente: Autor

Por otra parte, las pantallas son labores consideradas como una variante de las terrazas, básicamente se ubican en la parte más alta de los escarpes secundarios y el principal, rematando la intervención para evitar el socavamiento por las aguas lluvias de estos taludes que son altamente susceptibles al volcamiento, además de contar con una mayor altura libre con respecto a las terrazas, ya que estas cuentan con un voladizo que varía de 1.00 m a 1.40 m, la cual depende del relieve encontrado en el sector específico del terreno que se esté estabilizando, debe contar con un paral colocado al menos cada 0.80 m como soporte de una cortina de guaduas colocadas horizontalmente, desde la base de la zanja para la consolidación de la terraza.

Figura 2. Pantalla



Fuente: Autor

### 5.3 HISTÓRICO (ESTADO DEL ARTE):

A causa del terremoto del eje cafetero registrado el 25 de enero de 1999 se presentaron situaciones negativas en esta zona. Diferentes municipios se vieron afectados por el movimiento telúrico, donde se generaron deslizamientos y erosión convirtiéndose en un problema al cual era imperativo darle una pronta solución, el Doctor Horacio Rivera fue el encargado de empezar a desarrollar obras de bioingeniería en Villa Rosa, una vereda del municipio de Argelia ubicado en el Valle del Cauca, como una solución a los problemas que se presentaban (Sánchez, 2009).

Los principales elementos que allí se construyeron fueron filtros vivos primarios y secundarios en bambú, construcción de trinchos vivos enterrados a 0.5 metros y empotrados a taludes laterales, disipadores de energía, pantallas en este material, y elaboración de terrazas. En este sector como lo relata el Dr. Rivera se tuvo éxito en la implementación de proyectos de bioingeniería, ya que, se pudieron recuperar áreas caracterizadas por la erosión severa y cárcavas remontantes provocadas por las corrientes de agua formadas por las lluvias.

Además, Horacio Rivera relata otras experiencias de esta manera, “El trabajo que se adelantó en Argelia y en otras zonas del país donde se ha realizado intervención basada en Bioingeniería, consistió en encontrar la relación causa – efecto. Esto, mediante un buen inventario y diagnóstico a la luz de las interrelaciones roca, suelo, clima, vegetación, animal, infraestructura y hombre, y sin la necesidad de realizar

estudios costosos, dar soluciones inmediatas, eficientes y eficaces, tanto a nivel preventivo como de control de estos problemas que tanto aquejan a la población civil en los períodos invernales, y que traen consigo pérdidas de vidas humanas, viviendas, cultivos y todo tipo de infraestructura”.

En el departamento de Antioquia también se han adelantado proyectos de bioingeniería, en algunos sectores como lo son los municipios de Concordia y La Ceja las cuales fueron intervenidas por acción de tres entidades diferentes, la parte de estabilidad biomecánica de taludes estuvo a cargo del CIPAV. Una de las principales encargadas es la bióloga Zoraida Calle; haciendo un resumen de la experiencia que ella describe, resalta que las obras de estabilización dejan de ser protagonistas al cabo de un par de años puesto que estas solo dan estabilidad mientras la vegetación que se implementó en conjunto a las estructuras crece y esta pasa a ser la encargada de la estabilización del terreno (Calle, 2015).

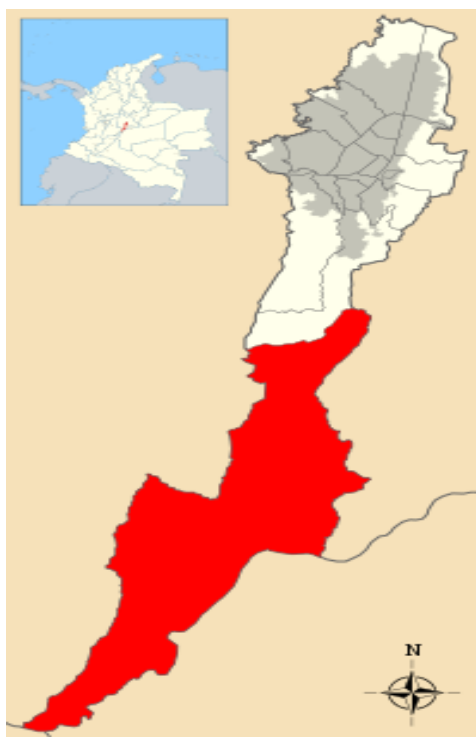
También resalta algunas características que deben tenerse presentes en la construcción de terrazas, como que deben estar ancladas a un suelo firme preferible de sustrato rocoso, debido a que en una experiencia todas las estructuras que no estaban ancladas correctamente se deslizaron con un movimiento de masas, de igual forma se debe tener presente la cuña de falla del talud en la construcción de las estructuras; resalta, que las intervenciones de bioingeniería comprenden un área mayor en comparación con una intervención de ingeniería normal, y en referencia a costos en algunas situaciones las obras de bioingeniería pueden llegar a reducir el costo hasta tres veces, pero en otros puede superar a las intervenciones de ingeniería tradicionales debido al área que debe ser intervenida.

## 6. DISEÑO METODOLÓGICO

### 6.1 LOCALIZACIÓN

Las estructuras que se pretenden evaluar en esta investigación se encuentran en la localidad el Sumapaz de la ciudad de Bogotá D.C. ubicada en la cordillera central de la región del macizo del Sumapaz, que se encuentra entre 2600 y 4320 m.s.n.m. y la cual abarca una extensión de aproximadamente 75.662 hectáreas (Sumapaz, 2013).

Figura 3. Ubicación de la localidad del Sumapaz



Fuente: Sumapaz

“La Localidad hace parte del Páramo de Sumapaz... Actualmente, está inscrito en el Sistema de parques naturales, dando origen al Parque Nacional Natural de Sumapaz, que constituye una de las áreas más importantes del país, por su vegetación con predominio de frailejones, musgos y pajonales, y por poseer una alta capacidad para condensar y almacenar el agua presente en las nubes y en el suelo por presentar una alta permeabilidad, convirtiéndola en área ideal para almacenar el recurso hídrico” (Sumapaz. 2013).

Según lo dicho por el ingeniero Ivan Sepúlveda encargado de planeación de la alcaldía de Sumapaz, se pretenden intervenir 10 sitios ubicados en los tres corregimientos de la localidad, como los son Nazareth, Betania y San Juan. En la

actualidad las obras se adelantan en solo cuatro sitios ubicados en el corregimiento de San Juan, más específicamente en la vereda de San Antonio.

Figura 4. Localización zona del proyecto, San Juan del Sumapaz



Fuente: Google Earth.

## 6.2 REFERENCIA DEL PROBLEMA

Principalmente se vienen presentando problemas de deslizamientos y derrumbes que afectan la bancada y taludes de las vías que comunican los diferentes sectores de la localidad causado diferentes problemas a la comunidad. A continuación, se presenta una serie de fotografías que evidencian los problemas que se presentan.

Figura 5. Perdida de banca de la vía



Fuente: Sumapaz

Figura 6. Deslizamientos de terrenos



Fuente: Sumapaz

Figura 7. Perdida de talud



Fuente: Sumapaz

### 6.3 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN

La información necesaria para adelantar la investigación será tomada de distintas partes según se requiera debido a la necesidad de diversos parámetros de diseño

que se deben cumplir por la normatividad vigente aplicable, requisitos geotécnicos y dimensiones de las estructuras para su posterior verificación.

#### 6.3.1 Propiedades mecánicas de la guadua

Dichas propiedades son obtenidas mediante ensayos establecidos en la NTC 5525. Debido a que en la NSR-10 se establecen los valores para esfuerzo admisibles y módulos de elasticidad que se determinaron mediante los ensayos de la NTC 5525, estos valores pueden ser usados para el diseño de cualquier estructura que se encuentre construida en guadua angustifolia Kunth siempre y cuando se cumplan con las condiciones y el proceso de diseño que se establece en el Capítulo G.12 de la NSR-10.

#### 6.3.2 Parámetros geotécnicos

Para empezar con el proceso de mitigación y control de erosión en la vereda de San Antonio, la alcaldía tuvo que contratar la realización de estudios geotécnicos de campo y laboratorio para saber qué tipos de terreno son los que se pretenden intervenir. De los informes de laboratorio reportados por la empresa encargada de realizar dichos estudios se establecerán los parámetros geotécnicos necesarios para la determinación de empujes del terreno y la capacidad portante que estos pueden suministrar a las pantallas y terrazas.

#### 6.3.3 Dimensiones de pantallas y terrazas

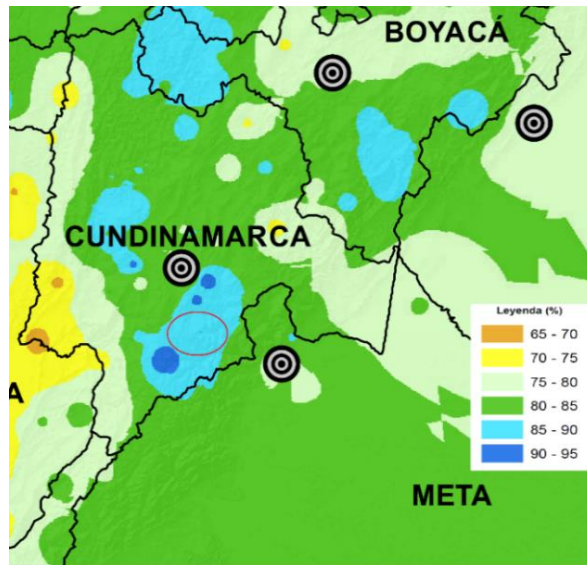
Debido a que en la actualidad ya se encuentran adelantando las obras de control de erosión, se cuenta con la información que suministrara el contratista que se encuentra adelantando las obras en la localidad. En dicha información se contará con dimensiones de empotramiento, separación de paraleles y distancias entre estructuras, las cuales serán objeto de verificación en este trabajo de grado.

### 6.4 CLIMA

En general, la zona se caracteriza por tener un clima frío, con temperaturas medias que oscilan entre 4.4° C, en el área de la laguna Negra, y 8.3° C, en La Unión, corregimiento de San Juan. Según el (IGAC 1985) los valores medios mensuales de la temperatura del aire tienen poca variación a lo largo del año, la época de verano se presenta en los meses de enero y diciembre; los meses más lluviosos son abril, octubre y noviembre.

Para tomar unos valores adecuados de humedad y temperatura, se localiza la zona en los mapas del IDEAM de humedad relativa anual y temperatura media anual del 2014. Para lo cual se obtiene una Hr del 85% al 90% según la Figura 8.

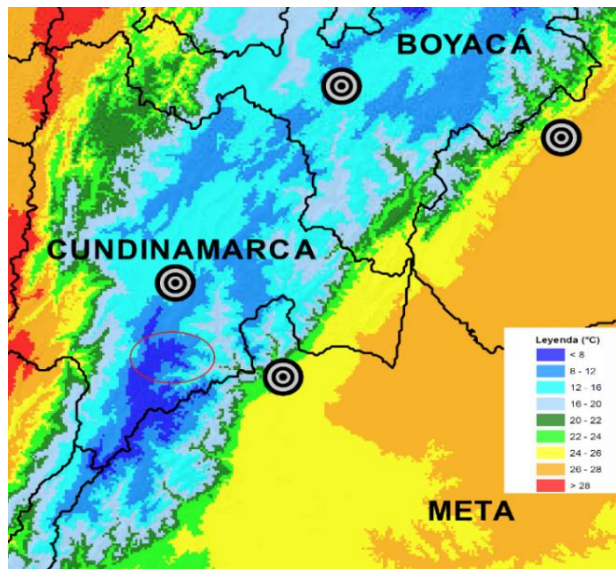
Figura 8. Humedad Relativa Anual



Fuente: IDEAM

De igual forma para la temperatura entre 8° y 12° según La Figura 9.

Figura 9. Temperatura media anual



Fuente: IDEAM

## 7. CARACTERIZACIÓN DE PARÁMETROS PARA EL DISEÑO

### 7.1 CARACTERIZACIÓN DE LA GUADUA

La Norma Colombiana Sismo Resistente del 2010 (NSR-10) establece en el título G, capítulo G.12, los requisitos para el diseño estructural y sismo resistente de estructuras cuyo elemento principal de construcción sea el bambú guadua angustifolia Kunth; Además, de suministrar valores típicos para los esfuerzos admisibles y módulo de elasticidad, siempre y cuando la guadua cumpla con las siguientes especificaciones establecidas en la sección G.12.3.1 de la NSR-10:

- La guadua debe ser de la especie Guadua angustifolia Kunth. El presente capítulo no contempla la posibilidad de utilizar otras especies de bambúes como elemento estructural.
- La edad de cosecha para guadua estructural debe estar entre los 4 y 6 años.
- El contenido de humedad de la guadua debe corresponder con el contenido de humedad de equilibrio del lugar. Cuando las edificaciones se construyan con guadua en estado verde se deben tener en cuenta todas las precauciones posibles para garantizar que las piezas al secarse tengan el dimensionamiento previsto en el diseño.
- La guadua estructural debe tener una buena durabilidad natural o estar adecuadamente preservada. Además, se deben aplicar todos los recursos para protegerla mediante el diseño del contacto con la humedad, la radiación solar, los insectos y los hongos.

#### 7.1.1 Propiedades mecánicas de la guadua.

Las propiedades mecánicas de la guadua que se establecen en la NSR-10 fueron determinadas mediante lo estipulado en la NTC 5525 para un contenido de humedad del 12% y según la sección G.12.3.1 de la NSR-10, para lo que se establecen los siguientes parámetros de esfuerzos y módulo de elasticidad.

Tabla 1. Esfuerzos admisibles  $F_i$  (MPa), CH=12%

$F_b$ Flexión	$F_t$ Tracción	$F_c$ Compresión	$F_{p^*}$ Compresión $\perp$	$F_v$ Corte
15	18	14	1.4	1.2

|| = compresión paralela al eje longitudinal.

$\perp$  = compresión perpendicular al eje longitudinal.

\*La resistencia a la compresión perpendicular está calculada para entrenudos rellenos con mortero de cemento.

Fuente: NSR-10 (Tabla G.12.7-1)

Tabla 2. Módulos de elasticidad,  $E_i$  (MPa), CH=12%

Módulo promedio $E_{0.5}$	Módulo percentil 5 $E_{0.05}$	Módulo mínimo $E_{min}$
9.500	7.500	4.000

Fuente: NSR-10 (Tabla G.12.7-2)

### 7.1.2 Coeficientes de modificación

Según la sección G.12.7.5, los esfuerzos admisibles y módulo de elasticidad deben ser afectados por los coeficientes que apliquen según los siguientes criterios: razón del tamaño, nudos, grietas, contenido de humedad, duración de carga y esbeltez; para aplicar los coeficientes de modificación antes mencionados la norma establece la formula G.12.7-3, la cual se requerirá para el cálculo del esfuerzo a flexión y cortante.

A continuación, se muestra la nomenclatura y sollicitaciones necesarias para su cálculo.

$i$  = subíndice que depende del tipo de sollicitación (**b** para flexión, **t** para tracción paralela a las fibras, **c** para compresión paralela a las fibras, **p** para compresión perpendicular a las fibras, **v** para cortante paralelo a las fibras), además de tener presente el módulo de elasticidad

$C_D$  = coeficiente de modificación por duración de carga

$C_m$  = coeficiente de modificación por contenido de humedad

$C_t$  = coeficiente de modificación por temperatura

$C_L$  = coeficiente de modificación por estabilidad lateral de vigas

$C_F$  = coeficiente de modificación por forma

$C_r$  = coeficiente de modificación por redistribución de cargas, acción conjunta

$C_p$  = coeficiente de modificación por estabilidad de columnas

$C_c$  = coeficiente de modificación por cortante

$F_i$  = esfuerzo admisible en la sollicitación  $i$

$F'_i$  = esfuerzo admisible modificado para la sollicitación  $i$

$$F'_i = F_i C_D C_m C_t C_L C_F C_r C_p C_e \quad (\text{G.12.7-3, NSR-10})$$

7.1.2.1 Por duración de carga o carga de diseño (G.12.7.6 – NSR-10)

Según la duración o el tipo de carga de diseño la norma plantea los siguientes coeficientes de modificación:

Tabla 3. Coeficientes de modificación por duración de carga

Duración de carga	Flexión	Tracción	Compresión	Compresión ⊥	Corte	Carga de diseño
Permanente	0.90	0.90	0.9	0.9	0.90	Muerta
Diez años	1.00	1.00	1.0	0.9	1.00	Viva
Dos meses	1.15	1.15	1.15	0.9	1.15	Construcción
7 días	1.25	1.25	1.25	0.9	1.25	
Diez minutos	1.60	1.60	1.6	0.9	1.60	Viento y Sismo
impacto	2.00	2.00	2.0	0.9	2.00	Impacto

Fuente: NSR-10 (G.12.7-4)

7.1.2.2 Por contenido de humedad (Tabla G.12.7.7 – NSR-10)

Debido a que las propiedades mecánicas de la guadua establecidos en la NSR-10 corresponden para un valor tipo de contenido de humedad del 12% y ya que estas pueden variar de acuerdo a las condiciones climáticas donde se realce la construcción. Se debe hacer una corrección dependiendo del contenido de humedad que adquiera según las condiciones del sitio, para lo cual se establecen los siguientes coeficientes.

Tabla 4. Coeficientes de modificación por contenido de humedad ( $C_m$ )

Esfuerzos		CH ≤ 12%	CH = 13%	CH = 14%	CH = 15%	CH = 16%	CH = 17%	CH = 18%	CH ≥ 19%
Flexión	$F_b$	1.0	0.96	0.91	0.87	0.83	0.79	0.74	0.70
Tracción	$F_t$	1.0	0.97	0.94	0.91	0.89	0.86	0.83	0.80
Compresión paralela	$F_c$	1.0	0.96	0.91	0.87	0.83	0.79	0.74	0.70
Compresión perpendicular	$F_p$	1.0	0.97	0.94	0.91	0.89	0.86	0.83	0.80
Corte	$F_y$	1.0	0.97	0.94	0.91	0.89	0.86	0.83	0.80
Modulo de elasticidad	$E_{0.5}$	1.0	0.99	0.97	0.96	0.94	0.93	0.91	0.90
	$E_{0.05}$								
	$E_{min}$								

Fuente: NSR-10 (Tabla G.12.7-5)

7.1.2.3 Por temperatura (G.12.7.8 – NSR-10)

Los esfuerzos y módulos principalmente se ven afectados cuando se someten a temperaturas altas para lo cual se establecen los siguientes coeficientes por normativa:

Tabla 5. Coeficientes de modificación por temperatura ( $C_t$ )

Esfuerzos		Condiciones de servicio	$(C_t)$		
			$T \leq 37^\circ C$	$37^\circ C \leq T \leq 52^\circ C$	$52^\circ C \leq T \leq 65^\circ C$
Flexión	$F_b$	Húmedo	1.0	0.60	0.40
		Seco		0.85	0.60
Tracción	$F_t$	Húmedo		0.85	0.80
		Seco		0.90	
Compresión paralela	$F_c$	Húmedo		0.65	0.40
		Seco		0.80	0.60
Compresión perpendicular	$F_p$	Húmedo		0.80	0.50
		Seco		0.90	0.70
Corte	$F_y$	Húmedo		0.65	0.40
		Seco		0.80	0.60
Modulo de elasticidad	E	Húmedo		0.80	0.80
		Seco		0.90	

Fuente: NSR-10 (Tabla G.12.7-6)

#### 7.1.2.4 Por acción conjunta (G.12.7.9 – NSR-10)

Los esfuerzos pueden ser incrementados en un 10% cuando se garantice que cuatro o más elementos van a actuar en acción conjunta y tengan la misma rigidez, teniendo presente que las separaciones de estos elementos nos tengan una separación mayor a 0.60m ( $C_r = 1.1$ ).

#### 7.1.2.5 Por acción cortante (G.12.8.9.6 – NSR-10)

Para los elementos con relación de  $l/D_e \leq 15$ , se debe realizar una corrección por cortante ( $C_c$ ), dicho coeficiente se relaciona a continuación para valores de  $C_c$  para el módulo de elasticidad promedio ( $E_{0.5}$ ).

Tabla 6. Valores de  $C_c$

$l/D_e$	$C_c$
5	0.70
7	0.75
9	0.81
11	0.86
13	0.91
15	0.93

Fuente: NSR-10 (Tabla G.12.8-3)

### 7.1.2.6 Estabilidad lateral de viga compuesta (G.12.8.10.6 – NSR-10)

Para vigas de sección compuesta por dos o más guaduas se debe reducir el esfuerzo admisible a flexión ( $F_b$ ), por el valor de  $C_L$ , factor que depende de la relación eje fuerte sección compuesta versus ancho débil sección simple.

Tabla 7. Coeficientes  $C_L$  para diferentes relaciones  $d/b$

$d/b$	$C_L$
1	1.00
2	0.98
3	0.95
4	0.91
5	0.87

Fuente: NSR-10 (Tabla G.12.8-5)

Figura 10. Sección compuesta



Fuente: NSR-10 (Figura G.12.8-1)

## 7.2 CARECTERIZACIÓN DE VALORES PARA MODELACIÓN

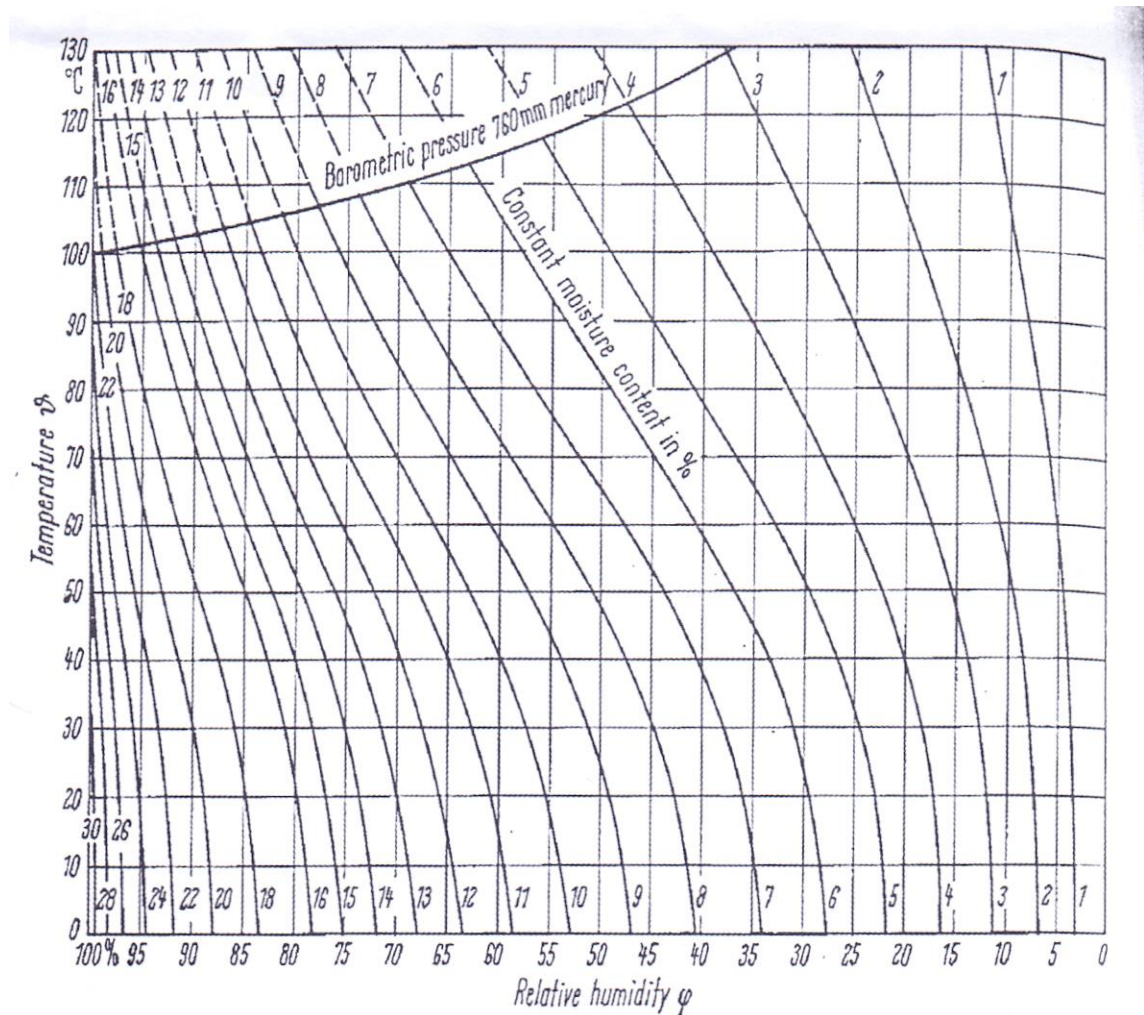
Debido a que el material es ortotrópico, para proceder a su definición en el software se debe contar con el módulo de elasticidad, módulo de cortante, densidad, peso específico y coeficiente de Poisson. Algunas de estas propiedades simplemente deben ser tomadas y cargadas y otras deben tener modificación por diferentes afectaciones, la definición del material se debe ajustar a los valores establecidos previamente con los coeficientes referidos en la normativa vigente.

### 7.2.1 Coeficientes de modificación

Para los coeficientes de modificación se debe tener presente principalmente los efectos climáticos del terreno como los son la temperatura y la humedad relativa de la región donde se adelanta la construcción de las estructuras. Por lo cual, se cuenta

con una humedad relativa del 85% al 90% y una temperatura media de 8°C a 12°C, tomando los valores más críticos, los cuales corresponden a una humedad de 90% y una temperatura de 8°C, llegando así a obtener un contenido de humedad de CH = 21% según el gráfico de Kollman F. & Côté W.A encontrado en Montoya y Orozco.

Figura 11. Gráfico para medir el contenido de humedad de equilibrio



Fuente: Montoya & Orozco

7.2.1.1 Coeficiente de modificación por contenido de humedad

Debido a que el contenido de humedad de la guadua según lo calculado es mayor al 19% se deberán aplicar el siguiente coeficiente según la Tabla 4, para lo que se tiene un coeficiente de 0.90 para los diferentes módulos de elasticidad.

### 7.2.1.2 Coeficiente de modificación por temperatura

Debido a que en el sitio se presenta una temperatura inferior a 37°C según la tabla G.12.7-6 se debe aplicar un coeficiente de modificación de 1.0 lo que no afecta el módulo de elasticidad.

### 7.2.2 Módulo de elasticidad

Según lo establecido en la NSR-10 se tomará el módulo de elasticidad para un percentil 5 ( $E_{0.05}$ ) con la finalidad de darle un nivel de seguridad superior y debido a que las condiciones de servicio son más críticas bajo este criterio, para lo cual el módulo de elasticidad aplicando las modificaciones a las que hay lugar será:

$$E'_{0.05} = E_{0.05} \cdot C_m \cdot C_t$$
$$E'_{0.05} = 7500 \cdot 0.9 \cdot 1.0$$
$$E'_{0.05} = \mathbf{6750 \text{ MPa}}$$

### 7.2.3 Módulo de cortante

Para el módulo de cortante no se encontraron documentos que suministren información sobre este valor, pero en la NSR-10 en la sección G.12.8.9.6 se establece una relación entre el módulo de elasticidad y el módulo de cortante de **E/G=28**.

$$G = \frac{E}{28} = \frac{6750}{28}$$
$$G = \mathbf{241 \text{ MPa}}$$

### 7.2.4 Densidad y peso específico

Para la densidad, se debe realizar un ensayo según la NTC 5525, pero debido a que el propósito del trabajo no es la realización de ensayos y puesto que se encuentran varias referencias al respecto, se tomó como base la investigación adelantada por Peña Rey en 2010, donde a partir de ensayos de envejecimiento para la guadua rolliza angustifolia Kunth se encontraron valores de densidad calculados bajo la normativa referida, para lo cual se tiene un valor de densidad de 750 kg/m<sup>3</sup> y peso específico de 7.36 kN/m<sup>3</sup>.

### 7.2.5 Coeficiente de Poisson

Es una propiedad mecánica que depende significativamente de la estructura del material y cuyos valores varían entre 0.22 y 0.35 mostrando la alta anisotropía del material (Jairo Osorio, Juan Vélez y Héctor Ciro). Tomando el valor más crítico de 0.35.

### 7.3 DEFINICIÓN DE PARÁMETROS DE RESISTENCIA

Debido a que las estructuras estarán sometida a empujes producto del terreno a estabilizar, los elementos de guadua estarán sometidos a sollicitaciones de flexión y cortante, para lo cual se procede a definir los esfuerzos admisibles de diseño necesarios.

#### 7.3.1 Esfuerzos admisibles para diseño

Ya que los parámetros por flexión se encuentran definidos en la tabla G.12.7-1, estos simplemente deben ser modificados por los coeficientes a los que haya lugar como lo son:

- Coeficiente de modificación por duración de carga

Debido a que la carga de diseño se encontrará durante toda la vida útil, esta se considerará como muerta y según la tabla G.12.7-4 se tendrá un  $C_D$  de 0.9 para flexión y cortante.

- Coeficiente de modificación por contenido de humedad

Como ya se estableció para el módulo de elasticidad, la guadua en el sitio de construcción presentará un contenido de humedad de equilibrio según las condiciones climáticas de localización que supera el 19%, para lo que se tendrá un  $C_m = 0.7$  para los esfuerzos de flexión y compresión.

- Coeficiente de modificación por temperatura

Debido a que en el sitio se presenta una temperatura inferior a 37°C según la tabla G.12.7-6 se debe aplicar un coeficiente de modificación de 1.0 para flexión y compresión.

##### 7.3.1.1 Esfuerzo a flexión

Según la tabla G.12.7-1 se tiene que el esfuerzo admisible por flexión es de 15MPa para lo cual se modificara los coeficientes de duración de carga, contenido de humedad y temperatura del sitio.

$$F'_b = F_b \cdot C_D \cdot C_m \cdot C_t$$
$$F'_b = 15 \cdot 0.9 \cdot 0.7 \cdot 1.0$$
$$F'_b = \mathbf{9.45 MPa}$$

##### 7.3.1.2 Esfuerzo a cortante

En la tabla G.12.7-1 se tiene que el esfuerzo admisible a cortante es de 1.2 MPa que al aplicar los coeficientes de modificación queda de:

$$F'_v = F_v \cdot C_D \cdot C_m \cdot C_t$$
$$F'_v = 1.2 \cdot 0.9 \cdot 0.7 \cdot 1.0$$
$$F'_v = \mathbf{0.75 MPa}$$

### 7.3.1.3 Diseño de elementos a flexión

“Los esfuerzos máximos a tensión y compresión que se presentan por flexión en el elemento serán calculados para la sección de máximo momento y no deberán exceder al máximo esfuerzo admisible por flexión establecido... de igual forma, el momento actuante sobre cualquier sección de guadua rolliza constituida por un solo culmo no debe exceder el valor del momento resistente determinado así” (Luna, Takeuchi, Granados, Lamus & Jorge Lozano, 2011, p. 70).

$$M \leq F'_b \cdot \frac{\pi}{32D_e} (D_e^4 - (D_e - 2t)^4)$$

$M$  = momento flector actuante en la sección de guadua rolliza.

$F'_b$  = esfuerzo de flexión admisible, modificado por los coeficientes a que haya lugar.

$D_e$  = diámetro externo promedio de la sección de guadua rolliza.

$t$  = espesor promedio de la sección de guadua rolliza.

### 7.3.1.4 Diseño de elementos a cortante

“El esfuerzo máximo de corte será calculado en la cara del apoyo y deberá ser inferior al máximo esfuerzo admisible para corte paralelo a las fibras establecido... la fuerza cortante paralela a las fibras actuante sobre cualquier sección de guadua rolliza formada por un solo culmo no debe exceder el valor de fuerza cortante determinada por” (Luna, et al., 2011, p.70).

$$V \leq \frac{3AF'_v}{4} \left( \frac{1 + \left(1 - \frac{2t}{D_e}\right)^2}{1 + \left(1 - \frac{2t}{D_e}\right) + \left(1 - \frac{2t}{D_e}\right)^2} \right)$$

$V$  = fuerza cortante paralela a las fibras actuante en la sección de guadua rolliza.

$F'_v$  = esfuerzo admisible para corte paralelo a las fibras, modificado por los coeficientes a que haya lugar.

$A$  = área de la sección transversal del elemento de guadua rolliza.

## 7.4 CARACTERIZACIÓN DE PARÁMETROS GEOTÉCNICOS

Debido a que en la actualidad solo se están interviniendo cuatro sitios ubicados en la vereda de San Antonio, se cuentan con estudios de esta parte. los estudios fueron adelantados por la empresa Geotechnical S.A.S. en enero del 2016, para lo cual como estudios de campo se realizaron ensayos de SPT (Standard Penetration Test)

y en laboratorio ensayos de contenido de humedad natural, granulometría, límites de Atterberg y peso unitario. Después de la realización de dichos ensayos la empresa encargada realiza el informe de los resultados obtenidos en cada uno de los sitios intervenidos, para lo cual se tiene en resumen la siguiente información relevante.

#### 7.4.1 Caracterización de parámetros geotécnicos

En estos informes principalmente se presenta una caracterización del material general del sondeo; las propiedades del material obtenidos en ensayos de laboratorio; para los resultados de los ensayos SPT se presentan los resultados de los valores normalizados al 60%, Modulo de Elasticidad y Resistencia al corte a través de correlaciones propias del ensayo, además de obtener los parámetros de resistencia drenados obtenidos de correlaciones con el SPT.

Adicionalmente, relaciona el esfuerzo cortante de la falla y el esfuerzo normal según por diferentes autores se despeje el ángulo de fricción y la cohesión para la envolvente máxima y mínima según el modelo lineal Mohr – Coulomb, este modelo toma como base la siguiente ecuación:

$$\tau = c' + \sigma'_n \cdot \tan \phi$$

Mostrando así las características geotécnicas del material.

Debido a que para el desarrollo de la investigación no se necesitan todos los resultados de los ensayos realizados se tomarán simplemente la caracterización del material; los resultados de los ensayos de SPT de lo cual se tomara el valor de la resistencia al corte y el módulo de elasticidad del suelo para calcular el módulo de reacción horizontal del terreno; la caracterización geotécnica del material por el modelo de Mohr – Coulomb para el cálculo de los empujes que deberán soportan las estructuras.

- **Sitio 1**

- Material: Arcilla ligera arenosa
- Resultados del ensayo SPT para los valores normalizados son:

Tabla 8. Parámetros SPT – Sitio 1

	Valores Normalizados N60	Resistencia al Corte Cu Cu (kPa)	Módulos de Elasticidad Es (kPa)
Min	2	13	2507
Max	14	93	6027
Prom	5.667	37.5	3582.3

Fuente: GEOTECHNICAL

- Características geotécnicas del material son:

Tabla 9. Caracterización geotécnica – Sitio 1

PARÁMETRO	VALOR
Densidad	Entre 1.508 t/m <sup>3</sup>
Cohesión	0.0 t/m <sup>2</sup>
Angulo de fricción	30°

Fuente: GEOTECHNICAL

- **Sitio 2**

- Material: Arcilla de baja compresibilidad color café.
- Resultados del ensayo SPT para los valores normalizados son:

Tabla 10. Parámetros SPT – Sitio 2

	Valores Normalizados N60	Resistencia al Corte Cu Cu (kPa)	Módulos de Elasticidad Es (kPa)
Min	4	27	3093
Max	10	66	4853
Prom	6.5	43.25	3826.5

Fuente: GEOTECHNICAL

- Características geotécnicas del material son:

Tabla 11. Caracterización geotécnica – Sitio 2

PARÁMETRO	VALOR
Densidad	Entre 1.823 t/m <sup>3</sup>
Cohesión	1.35 t/m <sup>2</sup>
Angulo de fricción	26°

Fuente: GEOTECHNICAL

- **Sitio 3**

- Material: Arcilla y limo de baja compresibilidad color café.
- Resultados del ensayo SPT para los valores normalizados son:
- 

Tabla 12. Parámetros SPT – Sitio 3

	Valores Normalizados N60	Resistencia al Corte Cu Cu (kPa)	Módulos de Elasticidad Es (kPa)
Min	3	20	2800
Max	25	166	9253
Prom	10.25	68	4926.5

Fuente: GEOTECHNICAL

- Características geotécnicas del material son:

Tabla 13. Caracterización geotécnica – Sitio 3

PARÁMETRO	VALOR
Densidad	Entre 1.37 t/m <sup>3</sup>
Cohesión	2.84 t/m <sup>2</sup>
Angulo de fricción	24°

Fuente: GEOTECHNICAL

- **Sitio 4**

- Material: Arcilla de baja compresibilidad color café.
- Resultados del ensayo SPT para los valores normalizados son:

Tabla 14. Parámetros SPT – Sitio 4

	Valores Normalizados N60	Resistencia al Corte Cu Cu (kPa)	Módulos de Elasticidad Es (kPa)
Min	2	13	2507
Max	25	166	9253
Prom	15	99.5	6320

Fuente: GEOTECHNICAL

- Características geotécnicas del material son:

Tabla 15. Caracterización geotécnica – Sitio 4

PARÁMETRO	VALOR
Densidad	Entre 1.45 t/m <sup>3</sup>
Cohesión	2.91 t/m <sup>2</sup>
Angulo de fricción	24°

Fuente: GEOTECHNICAL

#### 7.4.2 Establecimiento de rangos geotécnicos para el desarrollo de tablas

Ya que las obras se adelantarán en otros sectores de la localidad para intervenir sitios afectados. Se establecerá una serie de rangos para el peso específico ( $\gamma$ ) y ángulo de fricción ( $\phi$ ) basado en los estudios de suelos con los que se cuenta, para el módulo de elasticidad (E) los rangos se establecerán basados en parámetros según la Tabla 16.

Tabla 16. Parámetros elásticos para varios tipos de suelo

Tipo de suelo	Módulo de elasticidad, $E_s$ (MN/m <sup>2</sup> )	Coefficiente de Poisson, $\mu_s$
Arena suelta	10–25	0.20–0.40
Arena semi-densa	15–30	0.25–0.40
Arena densa	35–55	0.30–0.45
Arena limosa	10–20	0.20–0.40
Arena y grava	70–170	0.15–0.35
Arcilla blanda	4–20	
Arcilla media	20–40	0.20–0.50
Arcilla dura	40–100	

Fuente: Braja Das

Según los valores de ángulo de fricción que se encuentran dentro de los estudios de suelos se presentan valores que van desde 24° hasta 30°; según los rangos se establece como valor mínimo 21° como un caso crítico, y un valor máximo de 30°.

Para los pesos específicos se tiene valores que van desde 13.7 kN/m a 18.23 kN/m; se establecen como rangos valores que varíen de 13.0 kN/m a 19.0 kN/m.

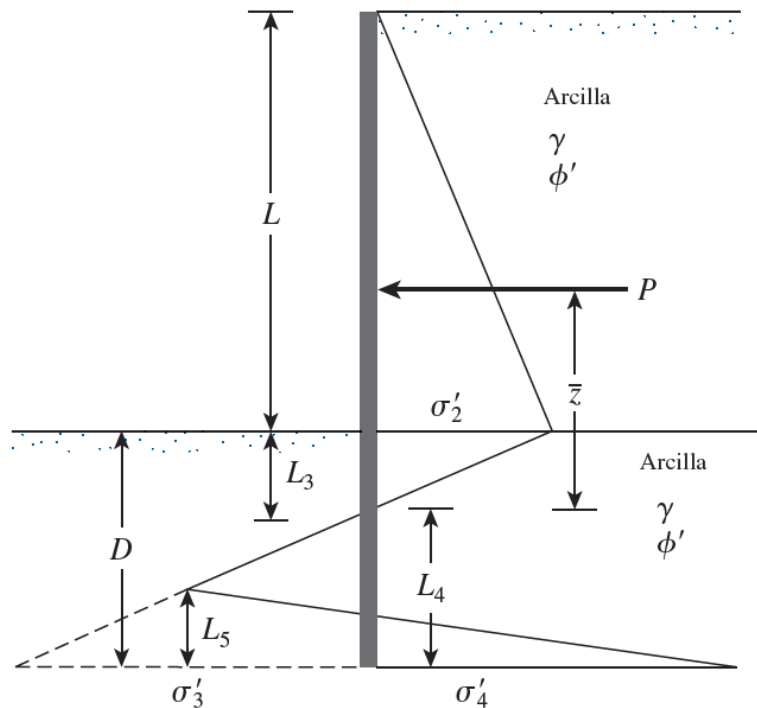
Por ultimo para el módulo de elasticidad según los estudios de suelos y Braja Das, se establecen parámetros que oscilen de 3.0 MPa a 21.0 MPa.

## 8. DISEÑO DE TERRAZAS Y PANTALLAS

### 8.1 CALCULO DE DIMENSIONES

Para el cálculo de las estructuras se tendrá presentes el diseño de estas como tablestacas, ya que dichos elementos al ser construidos se comportarán de forma similar. El dimensionamiento de dichas estructuras se realizará teniendo en cuenta el proceso de diseño que se plantea por Braja Das como una longitud de empotramiento aproximada que se tendrá como guía, esto debido a que el método no contempla dentro de su cálculo el módulo de elasticidad del suelo y este se requerirá en el modelamiento en SAP2000, para lo que se cree que tenga una función relevante y requiera de más o menos empotramiento al calculado por este método. Pero se tendrá presente el cumplimiento como mínimo de empotramiento del valor calculado con el factor de seguridad de 1.40 adoptado según lo establecido por Braja Das.

Figura 12. Tablestaca que penetra en suelo sin nivel freático



Fuente: Braja Dass

Debido a que los estudios geotécnicos suministran los ángulos de fricción de los suelos, el proceso de cálculo y diseño se realizara para elementos que penetran suelos friccionantés.

Los valores que se requieren para empezar con el diseño de la profundidad de empotramiento en el terreno son los siguientes:

$\gamma$  = peso específico del suelo

$\phi'$  = ángulo de fricción efectivo del suelo

$L$  = longitud de voladizo

La longitud del voladizo es de tipo variable de entre 0.50m y 1.20m, estas dependerán de su verificación y resultados favorables en la modelación en SAP2000.

El proceso de cálculo de la profundidad de empotramiento de las guaduas verticales según Braja Das.

$$K_a = \tan\left(45 - \frac{\phi'}{2}\right)^2$$

$$K_p = \tan\left(45 + \frac{\phi'}{2}\right)^2$$

$$\sigma'_2 = \gamma \cdot L \cdot K_a$$

$$L_3 = \frac{L \cdot K_a}{K_p - K_a}$$

$$\sigma'_5 = \gamma \cdot L \cdot K_p + \gamma \cdot L_3 \cdot (K_p - K_a)$$

$$P = \frac{1}{2} \cdot \sigma'_2 \cdot L + \frac{1}{2} \cdot \sigma'_5 \cdot L_3$$

$$\bar{z} = L_3 + \frac{L}{3}$$

$$A'_1 = \frac{\sigma'_5}{\gamma \cdot (K_p - K_a)}$$

$$A'_2 = \frac{8P}{\gamma \cdot (K_p - K_a)}$$

$$A'_3 = \frac{6P[2\bar{z}\gamma(K_p - K_a) + \sigma'_5]}{\gamma^2(K_p - K_a)^2}$$

$$A'_4 = \frac{P(6\bar{z}\sigma'_5 + 4P)}{\gamma^2(K_p - K_a)^2}$$

$$L_4^4 + A'_1 L_4^3 - A'_2 L_4^2 - A'_3 L_4 - A'_4 = 0$$

$$D_1 = L_3 + L_4$$

$$Fs = 1.5$$

$$D = F_s \cdot D_1$$

$$D_2 = D + D_1$$

$$H = D + L \quad \text{Longitud total de la guadua}$$

Las dimensiones de las estructuras se muestran en la Figura 8. y se definen así:

$S$  = Separación entre postes. Es de tipo variable a consideración del diseño, se establecerá una variación de 0.50m a 0.8m según resultados favorables.

$L$  = Longitud e voladizo.

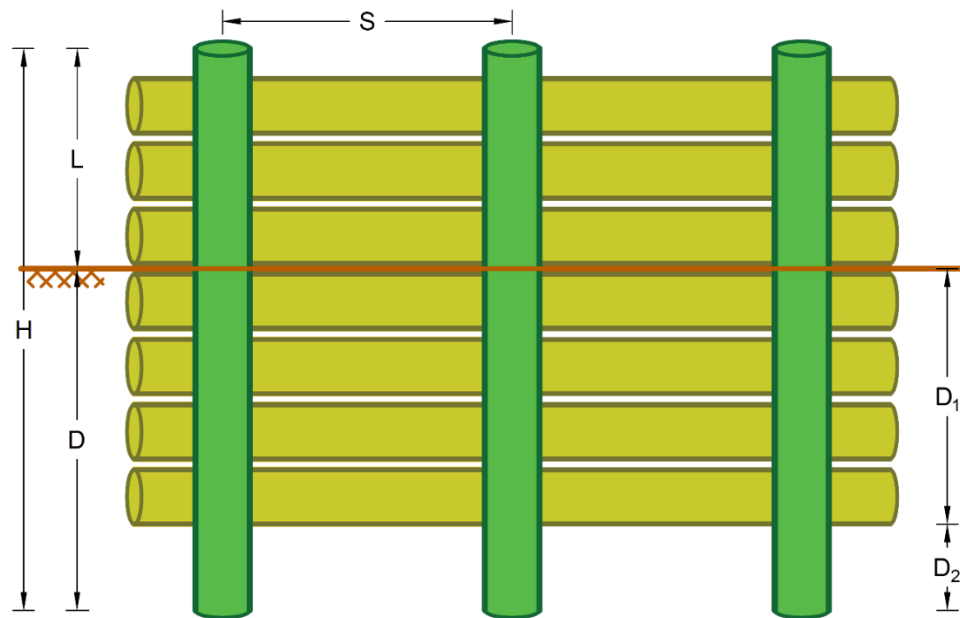
$D$  = Longitud de empotramiento.

$D_1$  = Longitud hasta la cual se dispone de guaduas colocadas horizontalmente.

$D_2$  = Longitud de empotramiento libre en el terreno de postes verticales.

$H$  = Longitud total de los postes de guadua.

Figura 13. Nomenclatura de dimensiones



Fuente: Autor

Ya establecidos los rangos de valores para el ángulo de fricción, y tomando los valores típicos de voladizos para terrazas de 0.50m y 0.80m, y pantallas de 1.00m y 1.20m, se calculan los valores de empotramiento para cada condición obtenido los resultados mostrados en la Tabla 17 y Tabla 18.

Los valores de empotramiento calculados son un valor aproximado que se llevara hasta el punto de cumplimiento por flexión, cortante y deflexión, por lo cual dichos valores podrán ser mayores o menores según los rangos de módulo de elasticidad que para este caso serán 3.0 MPa, 12.0 MPa y 21.0 MPa.

Tabla 17. Tabulación de valores de empotramiento calculados

$\phi$ (°)	21				24			
<b><i>L (m)</i></b>	0.50	0.80	1.00	1.20	0.50	0.80	1.00	1.20
<b><i>D<sub>1</sub> (m)</i></b>	0.85	1.40	1.70	2.00	0.70	1.15	1.45	1.70
<b><i>D<sub>2</sub> (m)</i></b>	0.45	0.70	0.85	1.00	0.35	0.55	0.70	0.85
<b><i>D (m)</i></b>	1.30	2.1	2.55	3.10	1.05	1.70	2.15	2.55
<b><i>H (m)</i></b>	1.80	2.9	3.55	4.30	1.55	2.50	3.15	3.75

Fuente: Autor

Tabla 18. Tabulación de valores de empotramiento calculados

$\phi$ (°)	27				30			
<b><i>L (m)</i></b>	0.50	0.80	1.00	1.20	0.50	0.80	1.00	1.20
<b><i>D<sub>1</sub> (m)</i></b>	0.60	0.95	1.20	1.45	0.50	0.85	1.05	1.25
<b><i>D<sub>2</sub> (m)</i></b>	0.30	0.45	0.60	0.70	0.25	0.45	0.50	0.60
<b><i>D (m)</i></b>	0.90	1.40	1.80	2.15	0.75	1.30	1.55	1.85
<b><i>H (m)</i></b>	1.40	2.20	2.80	3.35	1.25	2.10	2.55	3.05

Fuente: Autor

Además, se establecen los parámetros para cada uno de los cuatro sitios y los valores típicos de voladizos y separaciones que se están implementando en las obras, los cuales servirán para realizar la modelación y verificar si en realidad cumplen con los requerimientos de la normativa.

Tabla 19. Consolidación de parámetros por sitio para verificar.

Datos	Sitio 1		Sitio 2		Sitio 3		Sitio 4	
$\gamma$ ( $kN/m^3$ )	15.10		18.23		13.70		14.50	
$\phi$ ( $^\circ$ )	30		26		24		24	
$E$ (MPa)	3.58		3.83		4.93		6.32	
$L$ (m)	1.20	0.60	1.20	0.60	1.20	0.60	1.20	0.60
$S$ (m)	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70
$D$ (m)	1.80	1.10	1.80	1.10	1.80	1.10	1.80	1.10
$H$ (m)	3.00	1.70	3.00	1.70	3.00	1.70	3.00	1.70

Fuente: Autor

## 8.2 MODELACIÓN EN SAP2000

Para el modelamiento de las estructuras en el software se establecerá el mismo proceso para todas, por lo cual se tomará como ejemplo la modelación de una estructura en su totalidad y las consideraciones que se deben tomar para los cálculos de dimensiones realizadas bajo las siguientes condiciones.

$$\gamma = 13 \text{ kN/m}^3$$

$$\phi = 21^\circ$$

$$E_s = 3.0 \text{ MPa}$$

$$L = 0.50 \text{ m}$$

$$S = 0.70 \text{ m}$$

$$D = 1.30 \text{ m}$$

Debido a que los culmos de guadua con los cuales se están construyendo las estructuras no tienen una sección constante y tienen una variación en diámetro de aproximadamente 15.0 cm a 12.0 cm y en espesor de 3.0 cm a 2.0 cm, y con observaciones realizadas en las estructuras se establece los siguientes parámetros de diámetros y espesores según el voladizo.

Tabla 20. Diámetros y espesores según voladizo

Tipo	L (m)	d (cm)	t (cm)
Terraza	0.50	12	2
	0.80	13	2
Pantalla	1.00	15	3
	1.20	15	3

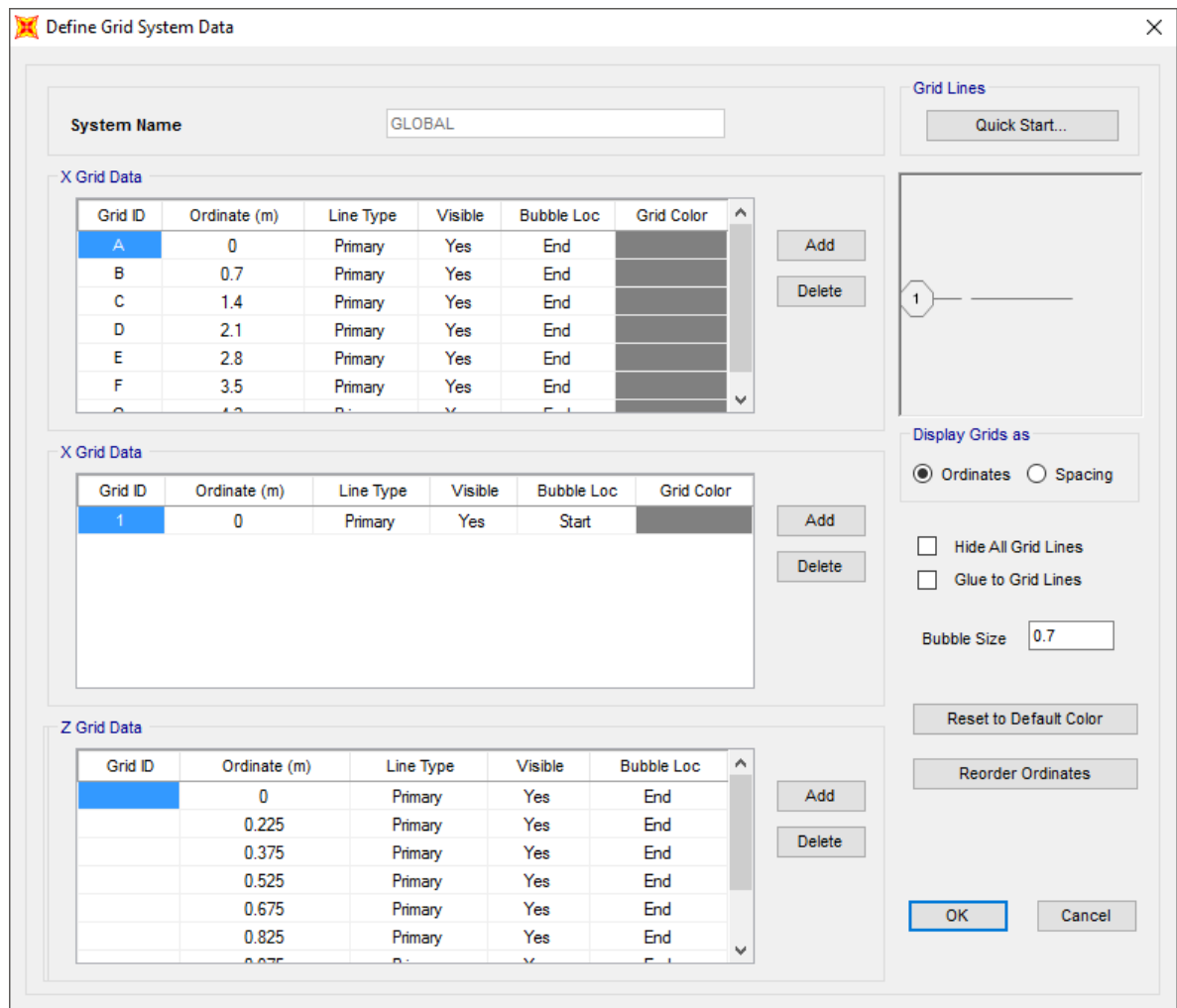
Fuente: Autor

- $L$  = Longitud de voladizo.
- $d$  = Diámetro del culmo de guadua.
- $t$  = Espesor del culmo de guadua.

### 8.2.1 Definición de grilla de trabajo

Se empieza con la definición de la grilla de trabajo, para lo cual se deben considerar las dimensiones calculadas anteriormente.

Figura 14. Grilla de trabajo

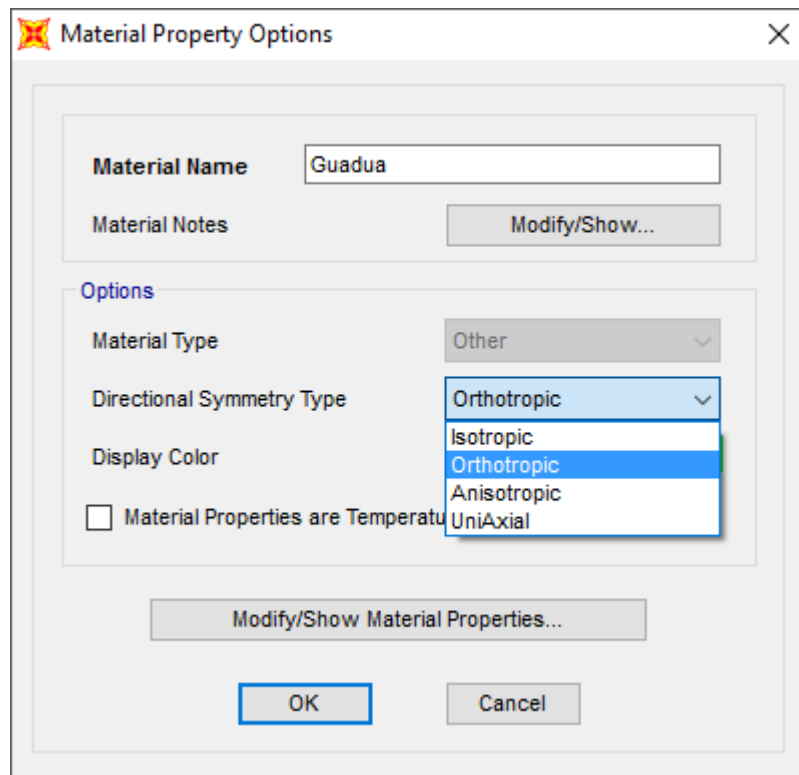


Fuente: Autor

### 8.2.2 Definición de material y sección

Para esto se debe establecer primero que es un material de tipo ortotrópico para que de esta manera se pueda modificar las propiedades del mismo y poder asignar el valor real del módulo de cortante.

Figura 15. Definición del tipo de material



Fuente: Autor

Ahora se procede a ingresar los valores necesarios para la creación del material de la guadua con todas sus propiedades. Primero se define el módulo de elasticidad que es de  $E = 6750 \text{ MPa}$ , el coeficiente de Poisson es de  $\mu = 0.35$ , el módulo de cortante  $G = 241 \text{ MPa}$ , densidad de la guadua  $\rho = 750 \text{ kg/m}^3$  y peso específico  $\gamma = 7.357 \text{ kN/m}^3$ .

Figura 16. Asignación de parámetros al material de la guadua

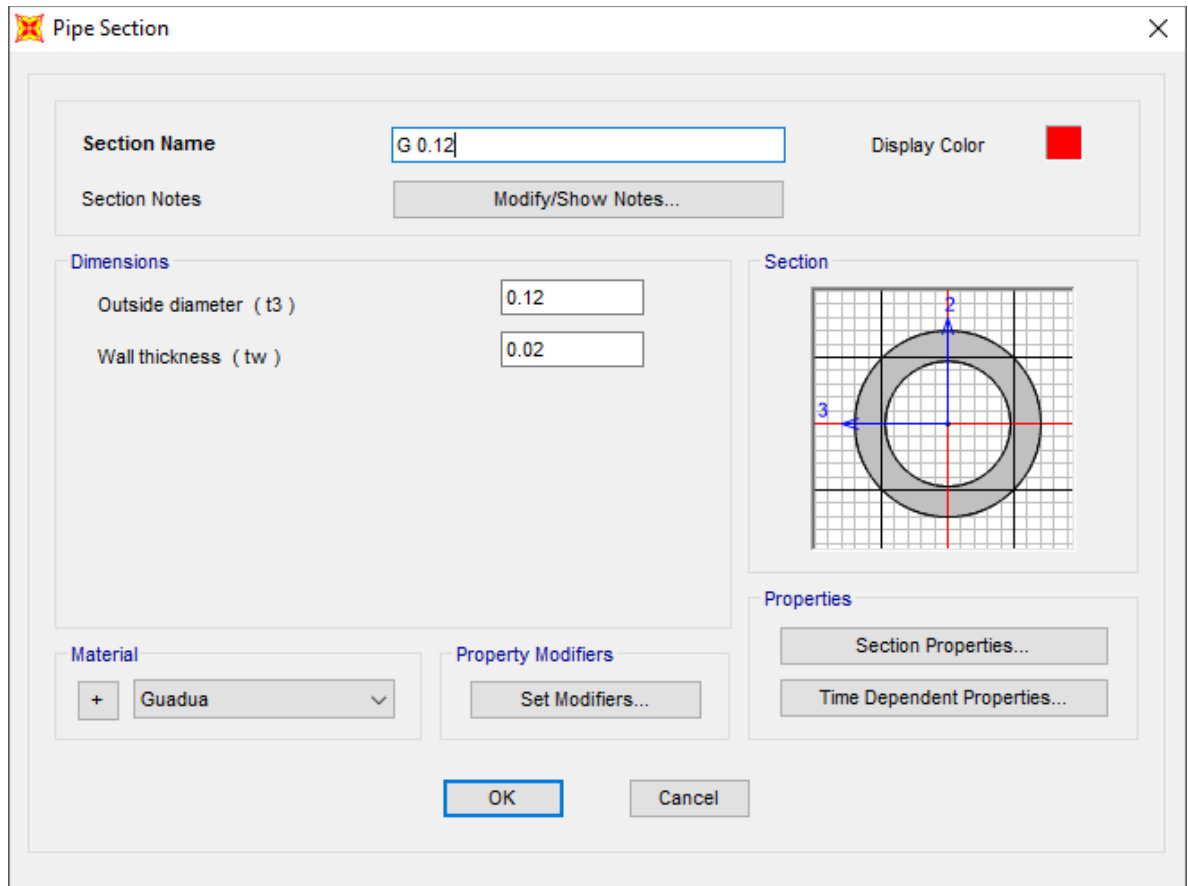
The image shows a software dialog box titled "Material Property Data" with a close button (X) in the top right corner. The dialog is organized into several sections:

- Material Name:** A text field containing "Guadua".
- Material Type:** A dropdown menu set to "Other".
- Symmetry Type:** A dropdown menu set to "Orthotropic".
- Modulus of Elasticity:** Three input fields for E1, E2, and E3, all containing the value "6750000.".
- Weight and Mass:** Two input fields: "Weight per Unit Volume" containing "7.357" and "Mass per Unit Volume" containing "0.735".
- Units:** A dropdown menu set to "KN, m, C".
- Poisson:** Three input fields for U12, U13, and U23, all containing the value "0.35".
- Coeff of Thermal Expansion:** Three input fields for A1, A2, and A3, all containing the value "1.170E-05".
- Shear Modulus:** Three input fields for G12, G13, and G23, all containing the value "241000.".
- Advanced Material Property Data:** A section containing four buttons: "Nonlinear Material Data...", "Material Damping Properties...", "Time Dependent Properties...", and "Thermal Properties...".
- Buttons:** "OK" and "Cancel" buttons at the bottom center.

Fuente: Autor

A continuación, se procede con la definición de la sección de la guadua en un elemento tipo Frame de sección tubular, la sección tendrá un diámetro de 0.15m y 0.03m de espesor, además, se deberá asignar el material de la guadua creado anteriormente.

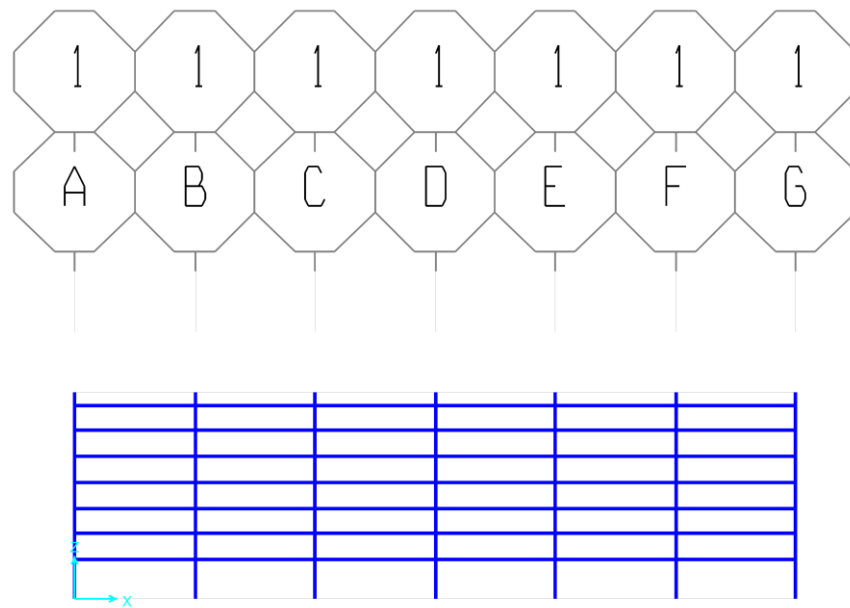
Figura 17. Creación de la sección de la guadua



Fuente: Autor

Ya definidas las secciones de la guadua se procede con la modelación de los elementos en conjunto, quedando así:

Figura 18. Visualización de la sección modelada



Fuente: Autor

### 8.2.3 Asignación de apoyos

Los apoyos serán asignados como resortes (springs) los cuales simularan el terreno en el cual se encuentran las estructuras, para lo cual se requiere del módulo de elasticidad del suelo y el coeficiente de Poisson del mismo para el cálculo del módulo de reacción vertical y horizontal del terreno, lo cual se hará utilizando las fórmulas que plantea Vesic, las cuales son las siguientes:

$$K_v = \frac{E_s}{d \cdot (1 - \mu_s^2)}$$

$$K_h = \frac{0.65}{d} \cdot \sqrt[12]{\frac{E_s \cdot d^4}{E \cdot I}} \cdot \left( \frac{E_s}{1 - \mu_s^2} \right)$$

$E_s$  = Módulo de elasticidad del suelo

$E$  = Módulo de elasticidad de la guadua

$I$  = Inercia de la sección de la guadua

$d$  = Diámetro de la sección de la guadua

$\mu_s$  = Módulo de Poisson del suelo

$t$  = Espesor de la guadua

$$E_s = 3.0 \text{ MPa}$$

$$E = 6750 \text{ MPa}$$

$$\mu_s = 0.5$$

$$d = 0.12 \text{ m}$$

$$t = 0.02 \text{ m}$$

$$I = \frac{\pi \cdot r^4}{4} \cdot \frac{\pi \cdot (r - t)^4}{4} = 8.17 * 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$K_v = \frac{3.0}{0.12 \cdot (1 - 0.5^2)} = 33.33 \frac{\text{MPa}}{\text{m}}$$

$$K_h = \frac{0.65}{0.12} \cdot \sqrt[12]{\frac{3.0 \cdot 0.12^4}{6750 \cdot 8.17 * 10^{-6}} \cdot \left(\frac{3.0}{1 - 0.5^2}\right)} = 14.91 \frac{\text{MPa}}{\text{m}}$$

Para obtener el valor del resorte que se debe asignar a las estructuras se debe multiplicar por el área aferente al nudo en donde se asigne el Spring, para lo que se tiene entonces:

$$l = 0.15 \text{ m Longitud aferente al nudo}$$

$$P = 2 \cdot \pi \cdot r = 0.47 \text{ m}$$

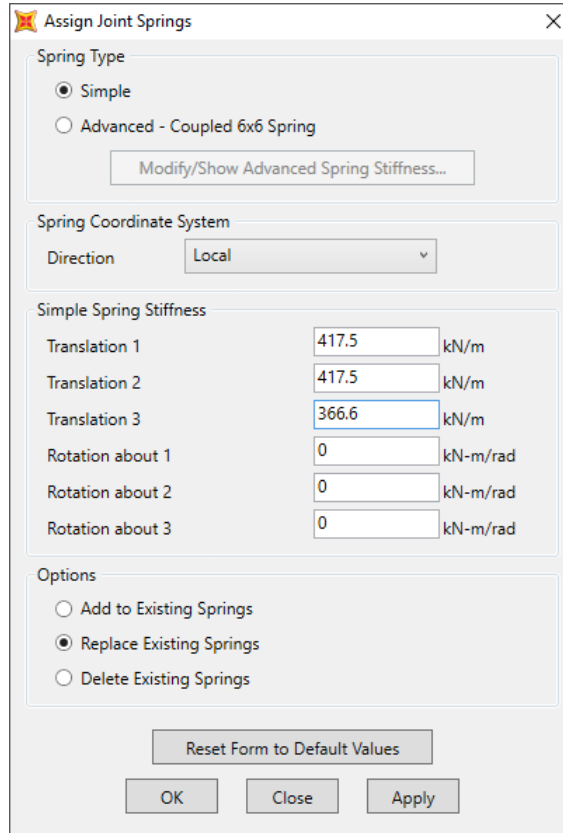
$$A_1 = \frac{P}{2} \cdot l = \frac{0.47}{2} \cdot 0.12 = 0.028 \text{ m}^2$$

$$A_2 = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{\pi \cdot 0.12^2}{4} = 0.011 \text{ m}^2$$

$$K_{x,y} = K_h \cdot A_1 = 14.91 \cdot 0.028 = 417.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

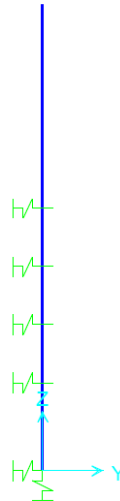
$$K_z = K_v \cdot A_2 = 33.33 \cdot 0.011 = 366.6 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Figura 19. Asignación de Springs



Fuente: Autor

Figura 20. Visualización de Springs asignados



Fuente: Autor

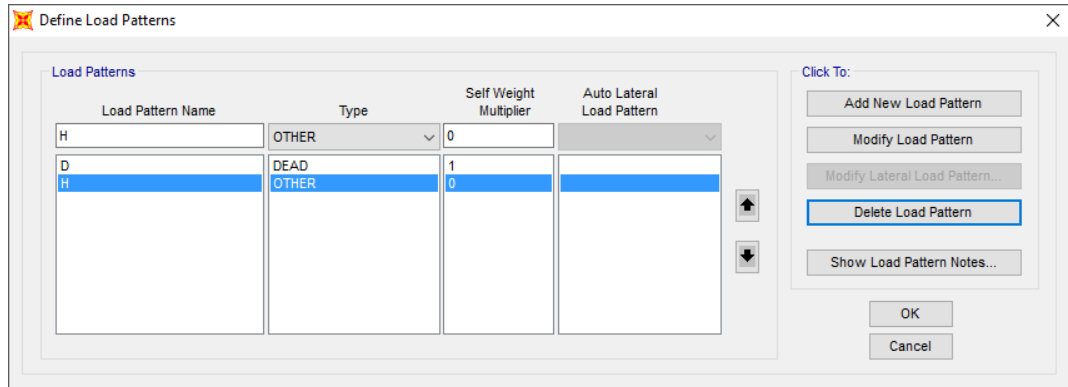
### 8.2.4 Definición de parámetros de carga

Debido a que para el análisis estático que se pretende realizar para la verificación del cumplimiento de las estructuras bajo el método del estado límite de servicio, solo se requiere de las cargas mostradas a continuación:

$D$  = Carga muerta

$H$  = Cargas debidas al empuje lateral del suelo

Figura 21. Definición de patrones de carga

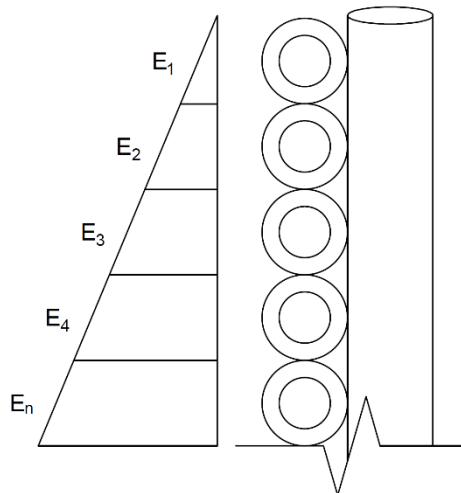


Fuente: Autor

### 8.2.5 Asignación de cargas

Las cargas serán asignadas a las guaduas ubicadas de manera horizontal. Los empujes se calcularán y distribuirán como una carga uniformemente distribuida según el diámetro de la guadua como se representa a continuación:

Figura 22. Distribución de empujes activos



Fuente: Autor

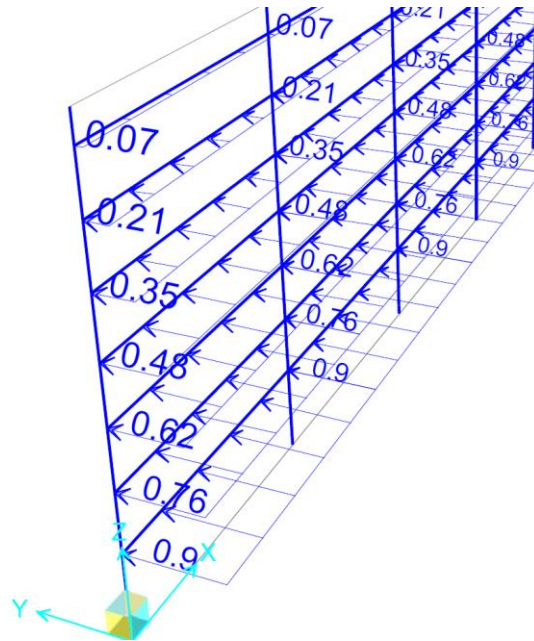
Para calcular los empujes correspondientes a cada guadaña se tiene se tiene que:

$$E_1 = K_a \cdot \gamma \cdot d \cdot \frac{d}{2} = 0.47 \cdot 13.0 \cdot 0.15 \cdot \frac{0.15}{2} = 0.070 \text{ kN}$$

$$E_2 = \frac{K_a \cdot \gamma \cdot d + K_a \cdot \gamma \cdot 2d}{2} \cdot d = 0.21 \text{ kN}$$

$$E_n = \frac{K_a \cdot \gamma \cdot (n-1)d + K_a \cdot \gamma \cdot nd}{2} \cdot d$$

Figura 23. Visualización de empujes asignados



Fuente: Autor

### 8.2.6 Definición de Combinaciones

Las combinaciones de carga aplicables son aquellas utilizadas para el método de esfuerzos de trabajo por el estado límite de servicio que se encuentran en el Título B, Sección B.2.3 de la NSR-10.

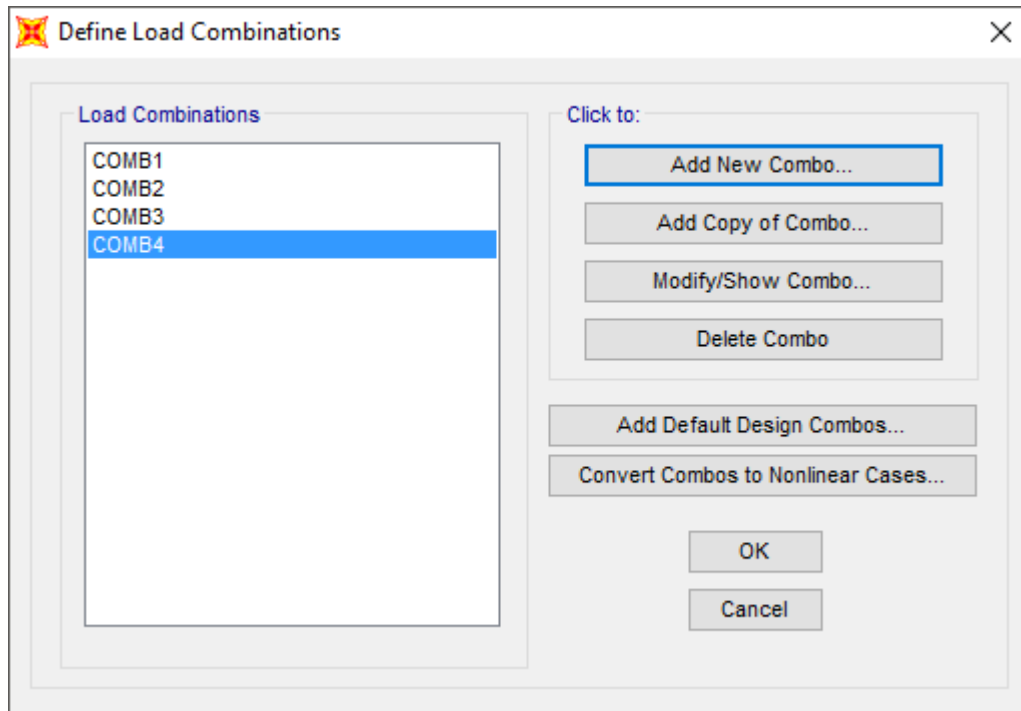
COMB1: D (B.2.3-1)

COMB2: D + H (B.2.3-2)

COMB3: 0.6D + H (B.2.3-9)

COMB4: Envolvente

Figura 24. Combinaciones



Fuente: Autor

## 8.3 VERIFICACIÓN DE RESULTADOS

### 8.3.1 Verificación de deflexión

La NSR-10 no hace especial énfasis en la deflexión máxima admisible para elementos sometidos a empujes producidos por suelos y en elementos que se encuentren en voladizos, entonces se tomara como referencia la deflexión de  $l/120$  encontrada en la Tabla G.12.8-2 de la NSR-10 la cual esta referenciada en la Tabla 20.

El parametro de deflexión de  $l/120$  se asume ya que este es para cargas de tipo horizontal, además de ser para elementos que acompañan a la guadua y que son flexibles lo cual se asemeja a las estructuras que se están evaluando.



Siendo así, se tiene que para los siete postes que conforman la estructura se tiene la siguiente verificación:

$$\delta_{max} = \frac{l}{120} = \frac{0.50}{120} = 4.167 \times 10^{-3} \text{ m} = 4.167 \text{ mm}$$

Tabla 22. Verificación de deflexión

Poste	$\delta_{max}$ (mm)	Estado
1	1.75	Cumple
2	1.77	Cumple
3	1.85	Cumple
4	1.89	Cumple
5	1.85	Cumple
6	1.77	Cumple
7	1.75	Cumple

Fuente: Autor

### 8.3.2 Verificación de cortante

Ahora, de SAP2000 se procede a exportar los resultados que se obtienen del análisis para la verificación de los resultados por cortante para lo cual se tomarán los valores más críticos en cada una de las gualdas ya sean verticales u horizontales.

Figura 26. Resultados de cortante

Frame Text	Station m	OutputCase	CaseType Text	StepType Text	P KN	V2 KN	V3 KN	T KN-m	M2 KN-m	M3 KN-m
18	0.675	COMB2	Combination		-0.185	-6.387E-15	0.415	-1.664E-17	0.087	-5.562E-16
18	0.825	COMB2	Combination		-0.178	-6.387E-15	0.415	-1.664E-17	0.0247	4.018E-16
18	0.675	COMB3	Combination		-0.111	-3.832E-15	0.415	-1.664E-17	0.087	-3.337E-16
18	0.825	COMB3	Combination		-0.107	-3.832E-15	0.415	-1.664E-17	0.0247	2.411E-16
18	0.675	COMB4	Combination	Max	0	0	0.415	0	0.087	0
18	0.825	COMB4	Combination	Max	0	0	0.415	0	0.0247	4.018E-16
6	0.675	COMB2	Combination		-0.182	-0.024	0.399	0.0007489	0.086	-0.0017
6	0.825	COMB2	Combination		-0.175	-0.024	0.399	0.0007489	0.0262	0.0018
6	0.675	COMB3	Combination		-0.109	-0.014	0.399	0.0007489	0.086	-0.001
6	0.825	COMB3	Combination		-0.105	-0.014	0.399	0.0007489	0.0262	0.0011
6	0.675	COMB4	Combination	Max	0	0	0.399	0.0007489	0.086	0
6	0.825	COMB4	Combination	Max	0	0	0.399	0.0007489	0.0262	0.0018
31	0.675	COMB2	Combination		-0.182	0.024	0.399	0.0007489	0.086	0.0017
31	0.825	COMB2	Combination		-0.175	0.024	0.399	-0.0007489	0.0262	-0.0018
31	0.675	COMB3	Combination		-0.109	0.014	0.399	0.0007489	0.086	0.001

Fuente: Autor

- Cortante máximo admisible

$$F'_v = 0.75 \text{ MPa}$$

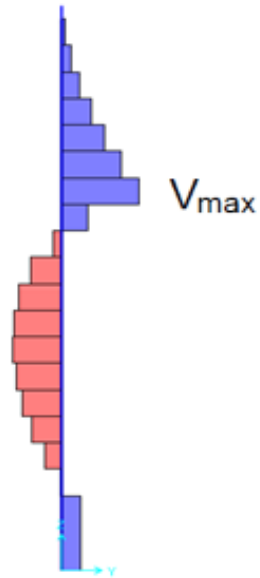
$$t = 0.03 \text{ m}$$

$$D_e = 0.15$$

$$A = \frac{\pi}{4} \cdot (D_e^4 - (D_e - 2t)^4) = 0.011 \text{ m}^2$$

$$V_{max} = \frac{3AF'_v}{4} \left( \frac{1 + \left(1 - \frac{2t}{D_e}\right)^2}{1 + \left(1 - \frac{2t}{D_e}\right) + \left(1 - \frac{2t}{D_e}\right)^2} \right) = 4.41 \text{ kN}$$

Figura 27. Diagrama de cortante



Fuente: Autor

Tabla 23. Verificación de cortantes en postes verticales

Poste	Vmax (kN)	Estado
1	0.93	Cumple
2	1.18	Cumple
3	1.38	Cumple
4	1.48	Cumple
5	1.48	Cumple
6	1.38	Cumple
7	1.18	Cumple
8	0.93	Cumple

Fuente: Autor

Tabla 24. Verificación de cortantes en postes horizontales

Poste	Vmax (kN)	Estado
1	0.06	Cumple
2	0.08	Cumple
3	0.15	Cumple
4	0.21	Cumple
5	0.28	Cumple
6	0.35	Cumple
7	0.42	Cumple
8	0.48	Cumple
9	0.54	Cumple
10	0.59	Cumple
11	0.65	Cumple

Fuente: Autor

### 8.3.3 Verificación de momentos

Se realiza el mismo proceso mencionado para cortantes, de las tablas de resultados se toman los valores máximos y se verifica el cumplimiento.

Figura 28. Resultados de momentos

Frame Text	Station m	OutputCase	CaseType Text	StepType Text	P KN	V2 KN	V3 KN	T KN-m	M2 KN-m	M3 KN-m
3	0.675	COMB2	Combination		-0.208	-0.053	-0.063	-7.192E-05	0.0906	0.0039
3	0.675	COMB3	Combination		-0.125	-0.032	-0.063	-7.192E-05	0.0906	0.0023
3	0.675	COMB4	Combination	Max	0	0	0	0	0.0906	0.0039
57	0.675	COMB2	Combination		-0.208	0.053	-0.063	7.192E-05	0.0906	-0.0039
57	0.675	COMB3	Combination		-0.125	0.032	-0.063	7.192E-05	0.0906	-0.0023
57	0.675	COMB4	Combination	Max	0	0.053	0	7.192E-05	0.0906	0
3	0.675	COMB2	Combination		-0.16	-0.053	0.338	0.0001687	0.0894	-0.0037
3	0.675	COMB3	Combination		-0.096	-0.032	0.338	0.0001687	0.0894	-0.0022
3	0.675	COMB4	Combination	Max	0	0	0.338	0.0001687	0.0894	0
57	0.675	COMB2	Combination		-0.16	0.053	0.338	-0.0001687	0.0894	0.0037
57	0.675	COMB3	Combination		-0.096	0.032	0.338	-0.0001687	0.0894	0.0022
57	0.675	COMB4	Combination	Max	0	0.053	0.338	0	0.0894	0.0037
18	0.675	COMB2	Combination		-0.185	-6.387E-15	0.415	-1.664E-17	0.087	-5.562E-16
18	0.675	COMB3	Combination		-0.111	-3.832E-15	0.415	-1.664E-17	0.087	-3.337E-16
18	0.675	COMB4	Combination	Max	0	0	0.415	0	0.087	0

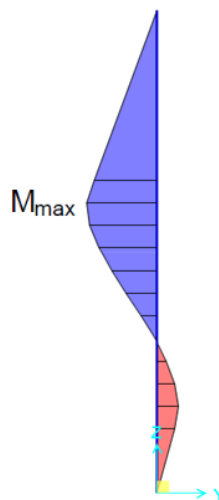
Fuente: Autor

- Momento máximo admisible

$$F'_b = 9.45 \text{ MPa}$$

$$M_{max} = F'_b \cdot \frac{\pi}{32D_e} (D_e^4 - (D_e - 2t)^4) = 2.72 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Figura 29. Diagrama de momento



Fuente: Autor

Tabla 25. Verificación de momentos en postes verticales

Poste	Mmax (kN·m)	Estado
1	0.40	Cumple
2	0.40	Cumple
3	0.45	Cumple
4	0.50	Cumple
5	0.50	Cumple
6	0.45	Cumple
7	0.40	Cumple
8	0.40	Cumple

Fuente: Autor

Tabla 26. Verificación de momentos en postes horizontales

Poste	Mmax (kN·m)	Estado
1	0.05	Cumple
2	0.05	Cumple
3	0.06	Cumple
4	0.07	Cumple
5	0.08	Cumple
6	0.09	Cumple
7	0.1	Cumple
8	0.11	Cumple
9	0.12	Cumple
10	0.13	Cumple
11	0.14	Cumple

Fuente: Autor

## 9. CONSOLIDACIÓN DE RESULTADOS

### 9.1 CONSIDERACIONES DE DISEÑO Y VERIFICACIÓN DE RESULTADOS

#### 9.1.1 Propiedades mecánicas de la guadua mínimas

Módulo de elasticidad:  $E = 6750 \text{ MPa}$

Módulo de cortante:  $G = 241 \text{ MPa}$

Contenido de humedad:  $CH \geq 19\%$

Coefficiente de Poisson:  $\mu \leq 0.35$

Esfuerzo a flexión:  $F'_v = 0.75 \text{ MPa}$

Esfuerzo a cortante:  $F'_b = 9.45 \text{ MPa}$

#### 9.1.2 Deflexiones admisibles

Para la verificación de deflexiones se tiene en cuenta la sección 8.3.1 del presente documento.

$$\delta_{max} = \frac{l}{120}$$

Tabla 27. Deflexiones admisibles

L (m)	$\delta_{adm}$ (m)
0.50	0.0042
0.80	0.0066
1.00	0.0083
1.20	0.0100

Fuente: Autor

#### 9.1.3 Cortantes y momentos admisibles

Para el cálculo de cortante admisible se recurre a la sección 8.3.2 del presente trabajo; para los casos donde se requiere el cálculo para dos culmos o más, simplemente se toma como el cortante para  $n$  veces la cantidad de culmos dispuestos, esto se realiza con las siguiente formulas.

$$A = \frac{\pi}{4} \cdot (D_e^4 - (D_e - 2t)^4)$$

$$V_{max} = \frac{3AF'_v}{4} \left( \frac{1 + \left(1 - \frac{2t}{D_e}\right)^2}{1 + \left(1 - \frac{2t}{D_e}\right) + \left(1 - \frac{2t}{D_e}\right)^2} \right)$$

Para la verificación a flexión se toma la sección 8.3.3, con la siguiente formula.

$$M_{max} = F'_b \cdot \frac{\pi}{32D_e} (D_e^4 - (D_e - 2t)^4)$$

En caso de disponer de dos culmos se dispone de la siguiente formula dispuesta en la sección G.128.10.9 de la NSR-10.

$$M_{max} = F'_b \cdot \frac{\pi}{32D_e} (5D_e^4 - 4D_e^2[D_e - 2t]^2 - [D_e - 2t]^4)$$

Se establece un resumen de los parámetros con los cuales se trabajará y las condiciones que se deberán tener presentes.

Tabla 28. Parámetros de cortantes y momentos admisibles

d (cm)	t (cm)	n	Vn (kN)	Mn (kN·m)
12	2	1	2.42	1.28
13	2	1	2.65	1.57
15	3	1	4.41	2.73
15	3	2	8.82	10.53

Fuente: Autor

## 9.2 VERIFICACIÓN DE RESULTADOS DE SITIOS CONSTRUIDOS

Tabla 29. Resultados sitio 1

L (m)	D (m)	H (m)	S (m)	d (cm)	t (cm)	n	V (kN)	M (kN·m)	δ (m)
0.60	1.10	1.70	0.7	0.12	0.02	1	0.63	0.18	0.0025
1.20	1.80	3.00	0.7	0.15	0.03	1	2.54	1.32	0.0245

Fuente: Autor

Tabla 30. Resultados sitio 2

L (m)	D (m)	H (m)	S (m)	d (cm)	t (cm)	n	V (kN)	M (kN·m)	$\delta$ (m)
0.60	1.10	1.70	0.7	0.12	0.02	1	0.90	0.25	0.0033
1.20	1.80	3.00	0.7	0.15	0.03	1	3.59	1.81	0.0343

Fuente: Autor

Tabla 31. Resultados sitio 3

L (m)	D (m)	H (m)	S (m)	d (cm)	t (cm)	n	V (kN)	M (kN·m)	$\delta$ (m)
0.60	1.10	1.70	0.7	0.12	0.02	1	0.73	0.20	0.0024
1.20	1.80	3.00	0.7	0.15	0.03	1	2.91	1.41	0.0262

Fuente: Autor

Tabla 32. Resultados sitio 4

L (m)	D (m)	H (m)	S (m)	d (cm)	t (cm)	n	V (kN)	M (kN·m)	$\delta$ (m)
0.60	1.10	1.70	0.7	0.12	0.02	1	0.77	0.21	0.0023
1.20	1.80	3.00	0.7	0.15	0.03	1	3.09	1.46	0.0265

Fuente: Autor

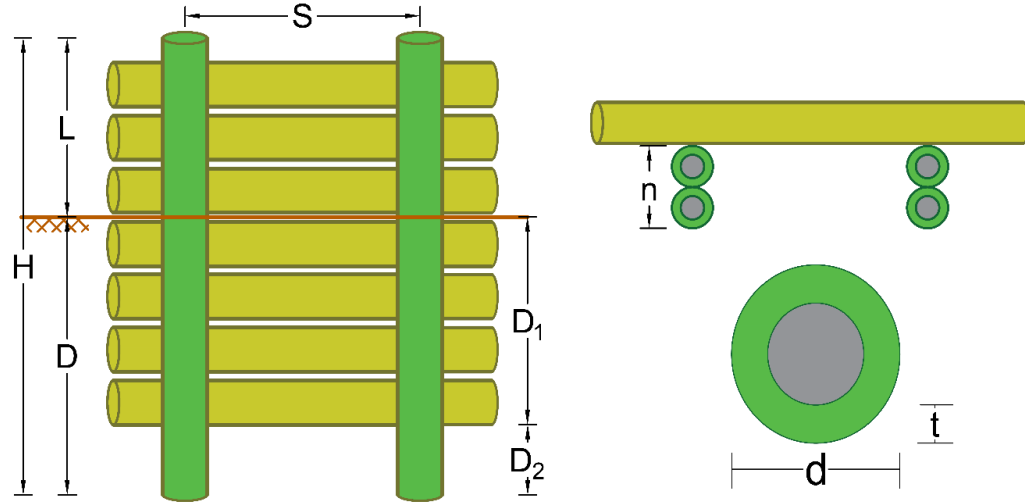
Luego de realizar el modelamiento de las estructuras que se están construyendo en cada uno de los sitios, se observa que hay problemas de control de flexión en las pantallas, debido a que en algunos casos se llegan a presentar deflexiones de más de tres centímetros.

Con los resultados obtenidos anteriormente, se establece que el principal criterio a controlar es la deflexión. Para controlar dicho problema se establece como control el aumento de empotramiento, en caso de ser insuficiente este recurso, se aumentará en número de culmos y/o se disminuirá la separación.

### 9.3 RESULTADOS DE DISEÑO

#### 9.3.1 Información para la interpretación de tablas de diseño

Figura 30. Nomenclatura de dimensiones



Fuente: Autor

$\phi$  = Ángulo de fricción del suelo.

$L$  = Longitud e voladizo.

$D$  = Longitud de empotramiento.

$H$  = Longitud total del poste de guadua.

$D_1$  = Longitud hasta la cual se dispone de guadas horizontalmente.

$D_2$  = Longitud de empotramiento libre en el terreno de poste vertical.

$S$  = Separación entre postes.

$d$  = Diámetro del culmo de guadua.

$t$  = Espesor del culmo de guadua.

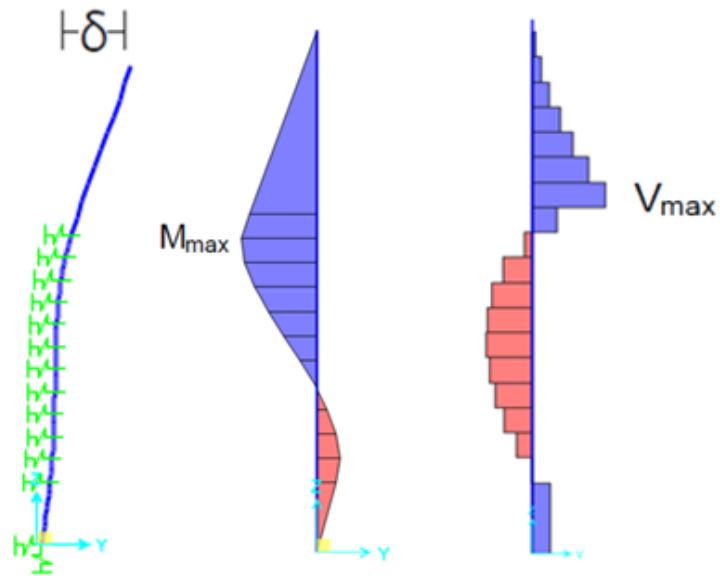
$n$  = Cantidad de postes a disponer.

$V$  = Cortante máximo esperado.

$M$  = Momento máximo esperado.

$\delta$  = Deflexión máxima esperada.

Figura 31. Posición de deflexión, cortante y momento



Fuente: Autor

### 9.3.2 Tablas de diseño

Tabla 33. Peso específico,  $\gamma = 13 \text{ kN/m}^3$  y Elasticidad del suelo  $E_s = 3 \text{ MPa}$

$\phi$	L (m)	D (m)	H (m)	D <sub>1</sub> (m)	D <sub>2</sub> (m)	S (m)	d (cm)	t (cm)	n	V (kN)	M (kN-m)	$\delta$ (m)
21	0.50	0.70	1.20	0.50	0.20	0.90	12	2	1	0.57	0.12	0.0026
	0.80	1.20	2.00	0.80	0.40	0.90	13	2	1	1.55	0.49	0.0066
	1.00	2.20	3.20	1.50	0.70	0.70	15	3	1	2.24	0.99	0.0083
	1.20	2.30	3.50	1.60	0.70	0.70	15	3	2	2.92	1.46	0.0092
24	0.50	0.70	1.20	0.50	0.20	0.90	12	2	1	0.51	0.11	0.0025
	0.80	1.20	2.00	0.80	0.40	0.90	13	2	1	1.43	0.47	0.0063
	1.00	2.20	3.20	1.50	0.70	0.80	15	3	1	2.36	0.97	0.0083
	1.20	2.30	3.50	1.60	0.70	0.80	15	3	2	3.05	1.51	0.0099
27	0.50	0.70	1.20	0.50	0.20	1.00	12	2	1	0.53	0.12	0.0028
	0.80	1.20	2.00	0.80	0.40	1.00	13	2	1	1.43	0.48	0.0064
	1.00	1.60	2.60	1.10	0.50	0.80	15	3	1	2.08	0.90	0.0083
	1.20	1.80	3.00	1.20	0.60	0.80	15	3	2	2.71	1.32	0.0098
30	0.50	0.70	1.20	0.50	0.20	0.80	12	2	1	0.47	0.11	0.0022
	0.80	1.20	2.00	0.80	0.40	0.80	13	2	1	1.27	0.43	0.0057
	1.00	1.60	2.60	1.10	0.50	0.80	15	3	1	1.85	0.80	0.0079
	1.20	1.80	3.00	1.20	0.60	0.80	15	3	1	2.40	1.17	0.0088

Fuente: Autor

Tabla 34. Peso específico,  $\gamma = 13 \text{ kN/m}^3$  y Elasticidad del suelo  $E_s = 12 \text{ MPa}$

$\phi$	L (m)	D (m)	H (m)	D <sub>1</sub> (m)	D <sub>2</sub> (m)	S (m)	d (cm)	t (cm)	n	V (kN)	M (kN·m)	$\delta$ (m)
21	0.50	0.70	1.20	0.50	0.20	1.00	12	2	1	0.66	0.15	0.0016
	0.80	1.20	2.00	0.80	0.40	1.00	13	2	1	1.79	0.56	0.0058
	1.00	1.60	2.60	1.10	0.50	0.80	15	3	1	2.71	1.15	0.0083
	1.20	2.30	3.50	1.60	0.70	0.80	15	3	1	3.53	1.71	0.0092
24	0.50	0.70	1.20	0.50	0.20	1.00	12	2	1	0.59	0.13	0.0014
	0.80	1.20	2.00	0.80	0.40	1.00	13	2	1	1.61	0.53	0.0053
	1.00	1.60	2.60	1.10	0.50	0.80	15	3	1	2.42	1.02	0.0079
	1.20	2.00	3.20	1.40	0.60	0.80	15	3	1	3.05	1.51	0.0100
27	0.50	0.70	1.20	0.50	0.20	1.00	12	2	1	0.53	0.12	0.0028
	0.80	1.20	2.00	0.80	0.40	1.00	13	2	1	1.43	0.47	0.0044
	1.00	1.60	2.60	1.10	0.50	0.80	15	3	1	2.17	0.88	0.0063
	1.20	1.80	3.00	1.20	0.60	0.80	15	3	1	2.80	1.25	0.0100
30	0.50	0.70	1.20	0.50	0.20	1.00	12	2	1	0.46	0.11	0.0010
	0.80	1.20	2.00	0.80	0.40	1.00	13	2	1	1.27	0.42	0.0038
	1.00	1.60	2.60	1.10	0.50	0.90	15	3	1	2.19	0.90	0.0065
	1.20	1.80	3.00	1.20	0.60	0.90	15	3	1	2.83	1.27	0.0099

Fuente: Autor

Tabla 35. Peso específico,  $\gamma = 13 \text{ kN/m}^3$  y Elasticidad del suelo  $E_s = 21 \text{ MPa}$

$\phi$	L (m)	D (m)	H (m)	D <sub>1</sub> (m)	D <sub>2</sub> (m)	S (m)	d (cm)	t (cm)	n	V (kN)	M (kN·m)	$\delta$ (m)
21	0.50	0.70	1.20	0.50	0.20	1.00	12	2	1	0.65	0.15	0.0011
	0.80	1.20	2.00	0.80	0.40	1.00	13	2	1	1.79	0.57	0.0048
	1.00	1.60	2.60	1.10	0.50	0.70	15	3	1	2.37	0.94	0.0062
	1.20	2.30	3.50	1.60	0.70	0.70	15	3	1	3.06	1.36	0.0100
24	0.50	0.70	1.20	0.50	0.20	1.00	12	2	1	0.58	0.13	0.0010
	0.80	1.20	2.00	0.80	0.40	1.00	13	2	1	1.60	0.53	0.0044
	1.00	1.60	2.60	1.10	0.50	0.70	15	3	1	2.11	0.85	0.0056
	1.20	2.00	3.20	1.40	0.60	0.70	15	3	1	2.74	1.21	0.0092
27	0.50	0.70	1.20	0.50	0.20	1.00	12	2	1	0.52	0.12	0.0009
	0.80	1.20	2.00	0.80	0.40	1.00	13	2	1	1.42	0.47	0.0039
	1.00	1.60	2.60	1.10	0.50	0.80	15	3	1	2.17	0.88	0.0058
	1.20	1.80	3.00	1.20	0.60	0.80	15	3	1	2.82	1.26	0.0095
30	0.50	0.70	1.20	0.50	0.20	0.90	12	2	1	0.51	0.12	0.0007
	0.80	1.20	2.00	0.80	0.40	0.90	13	2	1	1.14	0.37	0.0031
	1.00	1.60	2.60	1.10	0.50	0.90	15	3	1	2.19	0.89	0.0059
	1.20	1.80	3.00	1.20	0.60	0.90	15	3	1	2.84	1.28	0.0097

Fuente: Autor

Tabla 36. Peso específico,  $\gamma = 15 \text{ kN/m}^3$  y Elasticidad del suelo  $E_s = 3 \text{ MPa}$

$\phi$	L (m)	D (m)	H (m)	D <sub>1</sub> (m)	D <sub>2</sub> (m)	S (m)	d (cm)	t (cm)	n	V (kN)	M (kN·m)	$\delta$ (m)
21	0.50	0.70	1.20	0.50	0.20	0.80	12	2	1	0.57	0.12	0.0026
	0.80	1.20	2.00	0.80	0.40	0.80	13	2	1	1.56	0.50	0.0062
	1.00	2.20	3.20	1.50	0.70	0.60	15	3	1	2.17	0.97	0.0081
	1.20	2.30	3.50	1.60	0.70	0.60	15	3	2	2.83	1.43	0.0092
24	0.50	0.70	1.20	0.50	0.20	0.80	12	2	1	0.51	0.11	0.0026
	0.80	1.20	2.00	0.80	0.40	0.80	13	2	1	1.44	0.47	0.0063
	1.00	2.20	3.20	1.50	0.70	0.70	15	3	1	2.32	1.04	0.0083
	1.20	2.30	3.50	1.60	0.70	0.70	15	3	2	3.02	1.52	0.0096
27	0.50	0.70	1.20	0.50	0.20	0.90	12	2	1	0.55	0.12	0.0029
	0.80	1.20	2.00	0.80	0.40	0.90	13	2	1	1.47	0.49	0.0064
	1.00	1.80	2.80	1.20	0.60	0.70	15	3	1	2.06	0.90	0.0083
	1.20	2.00	3.20	1.40	0.60	0.70	15	3	2	2.67	1.32	0.0093
30	0.50	0.70	1.20	0.50	0.20	1.00	12	2	1	0.54	0.12	0.0026
	0.80	1.20	2.00	0.80	0.40	1.00	13	2	1	1.47	0.49	0.0066
	1.00	1.60	2.60	1.10	0.50	0.70	15	3	1	1.82	0.79	0.0078
	1.20	1.80	3.00	1.20	0.60	0.70	15	3	2	2.37	1.16	0.0086

Fuente: Autor

Tabla 37. Peso específico,  $\gamma = 15 \text{ kN/m}^3$  y Elasticidad del suelo  $E_s = 12 \text{ MPa}$

$\phi$	L (m)	D (m)	H (m)	D <sub>1</sub> (m)	D <sub>2</sub> (m)	S (m)	d (cm)	t (cm)	n	V (kN)	M (kN·m)	$\delta$ (m)
21	0.50	0.70	1.20	0.50	0.20	1.00	12	2	1	0.77	0.17	0.0018
	0.80	1.20	2.00	0.80	0.40	1.00	13	2	1	2.08	0.66	0.0060
	1.00	2.20	3.20	1.50	0.70	0.70	15	3	1	2.70	1.14	0.0082
	1.20	2.30	3.50	1.60	0.70	0.70	15	3	2	3.52	1.69	0.0091
24	0.50	0.70	1.20	0.50	0.20	1.00	12	2	1	0.68	0.15	0.0017
	0.80	1.20	2.00	0.80	0.40	1.00	13	2	1	1.86	0.61	0.0062
	1.00	1.60	2.60	1.10	0.50	0.70	15	3	1	2.40	1.00	0.0077
	1.20	1.80	3.00	1.20	0.60	0.70	15	3	2	3.17	1.48	0.0084
27	0.50	0.70	1.20	0.50	0.20	1.00	12	2	1	0.61	0.14	0.0015
	0.80	1.20	2.00	0.80	0.40	1.00	13	2	1	1.66	0.54	0.0055
	1.00	1.60	2.60	1.10	0.50	0.80	15	3	1	2.42	1.03	0.0080
	1.20	1.80	3.00	1.20	0.60	0.80	15	3	2	3.24	1.55	0.0088
30	0.50	0.70	1.20	0.50	0.20	1.00	12	2	1	0.54	0.13	0.0014
	0.80	1.20	2.00	0.80	0.40	1.00	13	2	1	1.47	0.48	0.0050
	1.00	1.60	2.60	1.10	0.50	0.70	15	3	1	1.89	0.79	0.0061
	1.20	1.80	3.00	1.20	0.60	0.70	15	3	1	2.46	1.13	0.0098

Fuente: Autor

Tabla 38. Peso específico,  $\gamma = 15 \text{ kN/m}^3$  y Elasticidad del suelo  $E_s = 21 \text{ MPa}$

$\phi$	L (m)	D (m)	H (m)	D <sub>1</sub> (m)	D <sub>2</sub> (m)	S (m)	d (cm)	t (cm)	n	V (kN)	M (kN·m)	$\delta$ (m)
21	0.50	0.70	1.20	0.50	0.20	1.00	12	2	1	0.76	0.17	0.0012
	0.80	1.20	2.00	0.80	0.40	1.00	13	2	1	2.07	0.66	0.0055
	1.00	1.60	2.60	1.10	0.50	0.70	15	3	1	2.70	1.14	0.0073
	1.20	1.80	3.00	1.20	0.60	0.70	15	3	2	3.51	1.66	0.0095
24	0.50	0.70	1.20	0.50	0.20	1.00	12	2	1	0.68	0.16	0.0011
	0.80	1.20	2.00	0.80	0.40	1.00	13	2	1	1.85	0.61	0.0050
	1.00	1.60	2.60	1.10	0.50	0.70	15	3	1	2.44	0.98	0.0065
	1.20	1.80	3.00	1.20	0.60	0.70	15	3	1	3.16	1.40	0.0100
27	0.50	0.70	1.20	0.50	0.20	1.00	12	2	1	0.59	0.14	0.0010
	0.80	1.20	2.00	0.80	0.40	1.00	13	2	1	1.64	0.54	0.0045
	1.00	1.60	2.60	1.10	0.50	0.70	15	3	1	2.17	0.87	0.0057
	1.20	1.80	3.00	1.20	0.60	0.70	15	3	1	2.81	1.25	0.0093
30	0.50	0.70	1.20	0.50	0.20	1.00	12	2	1	0.53	0.12	0.0009
	0.80	1.20	2.00	0.80	0.40	1.00	13	2	1	1.46	0.48	0.0040
	1.00	1.60	2.60	1.10	0.50	0.80	15	3	1	2.23	0.90	0.0060
	1.20	1.80	3.00	1.20	0.60	0.80	15	3	1	2.88	1.29	0.0098

Fuente: Autor

Tabla 39. Peso específico,  $\gamma = 17 \text{ kN/m}^3$  y Elasticidad del suelo  $E_s = 3 \text{ MPa}$

$\phi$	L (m)	D (m)	H (m)	D <sub>1</sub> (m)	D <sub>2</sub> (m)	S (m)	d (cm)	t (cm)	n	V (kN)	M (kN·m)	$\delta$ (m)
21	0.50	0.70	1.20	0.50	0.20	0.70	12	2	1	0.54	0.12	0.0023
	0.80	1.20	2.00	0.80	0.40	0.70	13	2	1	1.50	0.48	0.0064
	1.00	1.80	2.80	1.20	0.60	0.50	15	3	1	1.99	0.90	0.0083
	1.20	2.00	3.20	1.40	0.60	0.50	15	3	2	2.59	1.34	0.0091
24	0.50	0.70	1.20	0.50	0.20	0.70	12	2	1	0.49	0.11	0.0022
	0.80	1.20	2.00	0.80	0.40	0.70	13	2	1	1.39	0.45	0.0061
	1.00	1.60	2.60	1.10	0.50	0.50	15	3	1	1.78	0.80	0.0078
	1.20	1.80	3.00	1.20	0.60	0.50	15	3	2	2.31	1.19	0.0086
27	0.50	0.70	1.20	0.50	0.20	0.80	12	2	1	0.51	0.11	0.0023
	0.80	1.20	2.00	0.80	0.40	0.80	13	2	1	1.40	0.45	0.0060
	1.00	1.60	2.60	1.10	0.50	0.60	15	3	1	1.95	0.85	0.0083
	1.20	1.80	3.00	1.20	0.60	0.60	15	3	2	2.54	1.26	0.0092
30	0.50	0.70	1.20	0.50	0.20	0.80	12	2	1	0.48	0.11	0.0022
	0.80	1.20	2.00	0.80	0.40	0.80	13	2	1	1.28	0.47	0.0065
	1.00	1.80	2.80	1.20	0.60	0.70	15	3	1	2.07	0.91	0.0082
	1.20	2.00	3.20	1.40	0.60	0.70	15	3	2	2.70	1.34	0.0092

Fuente: Autor

Tabla 40. Peso específico,  $\gamma = 17 \text{ kN/m}^3$  y Elasticidad del suelo  $E_s = 12 \text{ MPa}$

$\phi$	L (m)	D (m)	H (m)	D <sub>1</sub> (m)	D <sub>2</sub> (m)	S (m)	d (cm)	t (cm)	n	V (kN)	M (kN·m)	$\delta$ (m)
21	0.50	0.70	1.20	0.50	0.20	0.90	12	2	1	0.77	0.17	0.0016
	0.80	1.20	2.00	0.80	0.40	0.90	13	2	1	2.09	0.65	0.0066
	1.00	1.60	2.60	1.10	0.50	0.60	15	3	1	2.55	1.06	0.0081
	1.20	1.80	3.00	1.30	0.50	0.60	15	3	2	3.33	1.58	0.0089
24	0.50	0.70	1.20	0.50	0.20	0.90	12	2	1	0.69	0.15	0.0016
	0.80	1.20	2.00	0.80	0.40	0.90	13	2	1	1.89	0.61	0.0062
	1.00	1.60	2.60	1.10	0.50	0.70	15	3	1	2.75	1.11	0.0079
	1.20	1.80	3.00	1.20	0.60	0.70	15	3	2	3.54	1.68	0.0095
27	0.50	0.70	1.20	0.50	0.20	1.00	12	2	1	0.69	0.15	0.0017
	0.80	1.20	2.00	0.80	0.40	1.00	13	2	1	1.86	0.58	0.0060
	1.00	1.80	2.80	1.20	0.60	0.80	15	3	1	2.82	1.18	0.0083
	1.20	1.80	3.00	1.20	0.60	0.80	15	3	2	2.67	1.75	0.0100
30	0.50	0.70	1.20	0.50	0.20	1.00	12	2	1	0.61	0.14	0.0016
	0.80	1.20	2.00	0.80	0.40	1.00	13	2	1	1.67	0.55	0.0055
	1.00	1.60	2.60	1.10	0.50	0.80	15	3	1	2.50	1.04	0.0080
	1.20	1.80	3.00	1.20	0.60	0.80	15	3	2	3.26	1.57	0.0087

Fuente: Autor

Tabla 41. Peso específico,  $\gamma = 17 \text{ kN/m}^3$  y Elasticidad del suelo  $E_s = 21 \text{ MPa}$

$\phi$	L (m)	D (m)	H (m)	D <sub>1</sub> (m)	D <sub>2</sub> (m)	S (m)	d (cm)	t (cm)	n	V (kN)	M (kN·m)	$\delta$ (m)
21	0.50	0.70	1.20	0.50	0.20	1.00	12	2	1	0.86	0.20	0.0014
	0.80	1.20	2.00	0.80	0.40	1.00	13	2	1	2.34	0.77	0.0064
	1.00	1.60	2.60	1.10	0.50	0.70	15	3	1	3.09	1.24	0.0082
	1.20	2.30	3.50	1.60	0.70	0.70	15	3	2	3.97	1.89	0.0099
24	0.50	0.70	1.20	0.50	0.20	1.00	12	2	1	0.76	0.18	0.0012
	0.80	1.20	2.00	0.80	0.40	1.00	13	2	1	2.10	0.69	0.0057
	1.00	1.60	2.60	1.10	0.50	0.80	15	3	1	3.19	1.29	0.0082
	1.20	1.80	3.00	1.20	0.60	0.80	15	3	2	4.17	1.89	0.0095
27	0.50	0.70	1.20	0.50	0.20	1.00	12	2	1	0.68	0.16	0.0011
	0.80	1.20	2.00	0.80	0.40	1.00	13	2	1	1.66	0.53	0.0048
	1.00	1.80	2.80	1.20	0.60	0.90	15	3	1	3.23	1.32	0.0083
	1.20	1.80	3.00	1.20	0.60	0.90	15	3	2	4.21	1.93	0.0097
30	0.50	0.70	1.20	0.50	0.20	1.00	12	2	1	0.59	0.14	0.0010
	0.80	1.20	2.00	0.80	0.40	1.00	13	2	1	1.65	0.54	0.0045
	1.00	1.60	2.60	1.10	0.50	0.70	15	3	1	2.18	0.87	0.0058
	1.20	1.80	3.00	1.20	0.60	0.70	15	3	1	2.83	1.25	0.0094

Fuente: Autor

Tabla 42. Peso específico,  $\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$  y Elasticidad del suelo  $E_s = 3 \text{ MPa}$

$\phi$	L (m)	D (m)	H (m)	D <sub>1</sub> (m)	D <sub>2</sub> (m)	S (m)	d (cm)	t (cm)	n	V (kN)	M (kN·m)	$\delta$ (m)
21	0.50	0.70	1.20	0.50	0.20	0.60	12	2	1	0.50	0.12	0.0023
	0.80	1.20	2.00	0.80	0.40	0.60	13	2	1	1.39	0.46	0.0060
	1.00	2.20	3.20	1.50	0.70	0.50	15	3	1	2.24	1.03	0.0083
	1.20	2.30	3.50	1.60	0.70	0.50	15	3	2	2.91	1.49	0.0097
24	0.50	0.70	1.20	0.50	0.20	0.70	12	2	1	0.54	0.12	0.0024
	0.80	1.20	2.00	0.80	0.40	0.70	13	2	1	1.56	0.51	0.0066
	1.00	2.00	3.00	1.40	0.60	0.60	15	3	1	2.47	1.05	0.0083
	1.20	2.10	3.30	1.40	0.70	0.60	15	3	2	3.19	1.60	0.0100
27	0.50	0.70	1.20	0.50	0.20	0.70	12	2	1	0.52	0.11	0.0024
	0.80	1.20	2.00	0.80	0.40	0.70	13	2	1	1.68	0.54	0.0058
	1.00	2.00	3.00	1.40	0.60	0.60	15	3	1	2.18	0.98	0.0082
	1.20	2.00	3.20	1.40	0.60	0.60	15	3	2	2.83	1.41	0.0098
30	0.50	0.70	1.20	0.50	0.20	0.80	12	2	1	0.54	0.12	0.0025
	0.80	1.20	2.00	0.80	0.40	0.80	13	2	1	1.42	0.46	0.0057
	1.00	2.20	3.20	1.50	0.70	0.70	15	3	1	2.32	1.04	0.0082
	1.20	2.30	3.50	1.60	0.70	0.70	15	3	2	3.00	1.50	0.0098

Fuente: Autor

Tabla 43. Peso específico,  $\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$  y Elasticidad del suelo  $E_s = 12 \text{ MPa}$

$\phi$	H (m)	L (m)	D (m)	D <sub>1</sub> (m)	D <sub>2</sub> (m)	S (m)	d (cm)	t (cm)	n	V (kN)	M (kN·m)	$\delta$ (m)
21	0.50	0.70	1.20	0.50	0.20	0.80	12	2	1	0.72	0.15	0.0032
	0.80	1.50	2.30	1.00	0.50	0.80	13	2	1	2.05	0.65	0.0064
	1.00	2.20	3.20	1.50	0.70	0.60	15	3	1	2.92	1.16	0.0073
	1.20	2.10	3.30	1.40	0.70	0.60	15	3	2	3.78	1.76	0.0090
24	0.50	0.70	1.20	0.50	0.20	0.80	12	2	1	0.64	0.13	0.0029
	0.80	1.20	2.00	0.80	0.40	0.80	13	2	1	2.05	0.65	0.0064
	1.00	1.60	2.60	1.10	0.50	0.60	15	3	1	2.55	1.05	0.0081
	1.20	1.80	3.00	1.20	0.60	0.60	15	3	2	3.31	1.52	0.0088
27	0.50	0.70	1.20	0.50	0.20	0.80	12	2	1	0.60	0.13	0.0027
	0.80	1.20	2.00	0.80	0.40	0.80	13	2	1	1.86	0.59	0.0062
	1.00	1.60	2.60	1.10	0.50	0.70	15	3	1	2.70	1.12	0.0083
	1.20	1.80	3.00	1.20	0.60	0.70	15	3	2	3.52	1.67	0.0095
30	0.50	0.70	1.20	0.50	0.20	1.00	12	2	1	0.68	0.16	0.0018
	0.80	1.20	2.00	0.80	0.40	1.00	13	2	1	1.86	0.61	0.0052
	1.00	2.00	3.00	1.40	0.60	0.80	15	3	1	3.80	1.19	0.0082
	1.20	2.30	3.50	1.60	0.70	0.80	15	3	2	3.65	1.77	0.0094

Fuente: Autor

Tabla 44. Peso específico,  $\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$  y Elasticidad del suelo  $E_s = 21 \text{ MPa}$

$\phi$	H (m)	L (m)	D (m)	D <sub>1</sub> (m)	D <sub>2</sub> (m)	S (m)	d (cm)	t (cm)	n	V (kN)	M (kN·m)	$\delta$ (m)
21	0.50	0.70	1.20	0.50	0.20	0.90	12	2	1	0.86	0.20	0.0014
	0.80	1.20	2.00	0.80	0.40	0.90	13	2	1	2.34	0.74	0.0061
	1.00	1.60	2.60	1.10	0.50	0.60	15	3	1	2.92	1.16	0.0077
	1.20	1.80	3.00	1.20	0.60	0.60	15	3	2	3.81	1.69	0.0083
24	0.50	0.70	1.20	0.50	0.20	1.00	12	2	1	0.85	0.20	0.0014
	0.80	1.20	2.00	0.80	0.40	1.00	13	2	1	2.33	0.77	0.0064
	1.00	1.60	2.60	1.10	0.50	0.70	15	3	1	3.09	1.23	0.0081
	1.20	1.80	3.00	1.20	0.60	0.70	15	3	2	4.03	1.81	0.0090
27	0.50	0.70	1.20	0.50	0.20	1.00	12	2	1	0.75	0.18	0.0012
	0.80	1.20	2.00	0.80	0.40	1.00	13	2	1	2.60	0.83	0.0049
	1.00	1.60	2.60	1.10	0.50	0.80	15	3	1	3.18	1.28	0.0082
	1.20	1.80	3.00	1.20	0.60	0.80	15	3	2	4.15	1.88	0.0094
30	0.50	0.70	1.20	0.50	0.20	1.00	12	2	1	0.67	0.16	0.0011
	0.80	1.20	2.00	0.80	0.40	1.00	13	2	1	1.85	0.61	0.0043
	1.00	1.60	2.60	1.10	0.50	0.90	15	3	1	3.20	1.31	0.0083
	1.20	1.80	3.00	1.20	0.60	0.90	15	3	2	4.18	1.92	0.0096

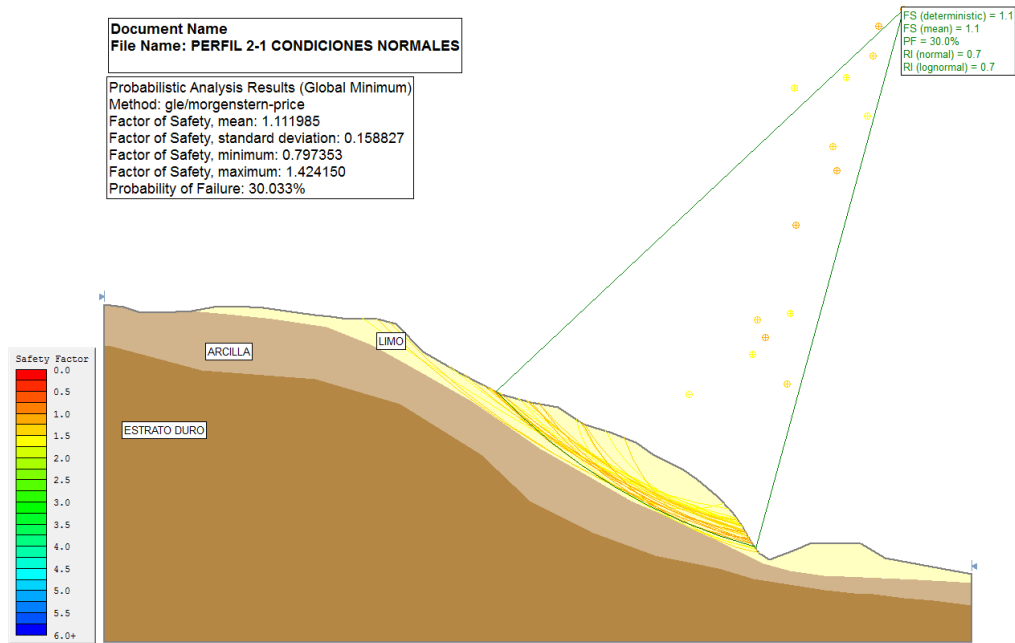
Fuente: Autor

#### 9.4 VERIFICACIÓN DE APOORTE AL TALUD

En los estudios de suelos adelantados por GEOTECHNICAL, se presenta el análisis de taludes. En dichos estudios se realiza el análisis estadístico para calcular la probabilidad de falla que se puede llegar a presentar para los diferentes taludes por el método de Montecarlo, dicho método se realiza para dos perfiles de cada sitio a intervenir; además, de evaluarlo en condicione naturales (Figura 32), se evalúa con la intervención de las obras (Figura 33).

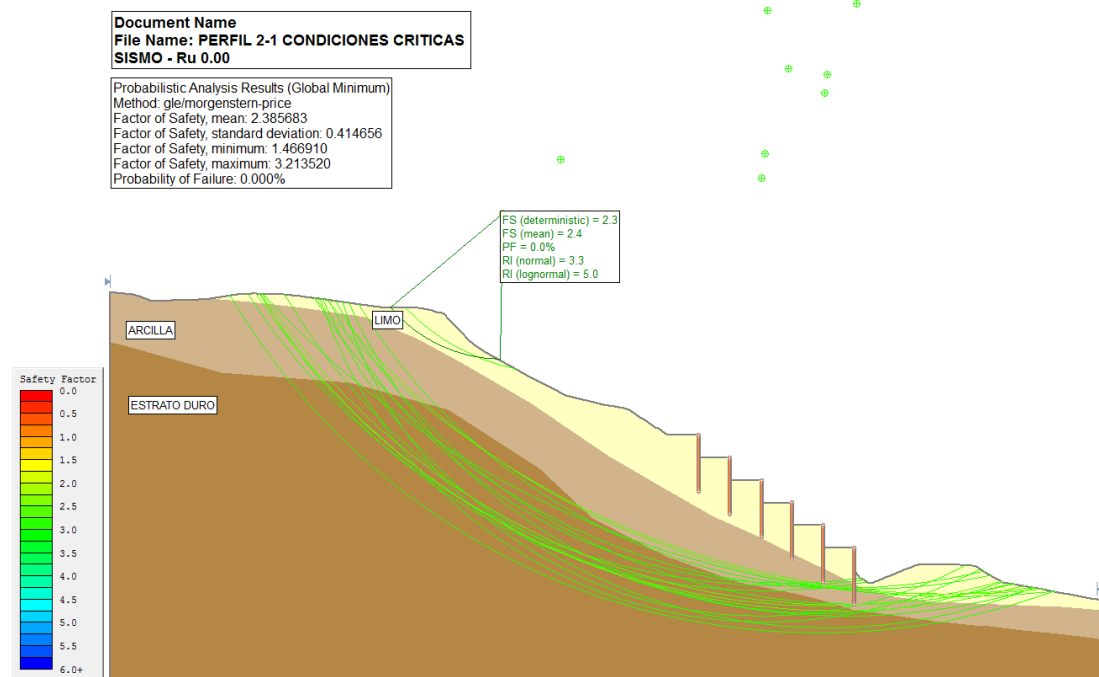
Dicho análisis se realiza para condiciones naturales, variando la presión de poros ( $R_u$ ) desde 0.00 hasta 0.50; y para condiciones crítica en el cual se implementa la respuesta sísmica que esta deberá soportar.

Figura 32. Evaluación en condiciones naturales para el perfil 2-1, sitio 2



Fuente: GEOTECHNICAL

Figura 33. Evaluación en condiciones críticas para perfil 2-1, sitio 2



Fuente: GEOTECHNICAL

De las evaluaciones a cada uno de los sitios y perfiles de los taludes, se presentan cuadros resumen para cada una de las condiciones en las que se evaluaron, la probabilidad de falla que estos presentarían y la probabilidad relativa que tienen de fallar; esta información se muestra a continuación para los sitios 2, 3 y 4, los cuales fueron evaluados.

Tabla 45. Factor de seguridad y probabilidad de falla – Sitio 2

Perfil	Condicion Ru	FS	Desvacion Estandar	Probabilidad de Falla - Montecarlo	Peso del Escenario	PF Total	Categoria Amenaza	Probabilidad Relativa
PERFIL 2-1	0.00	0.86	0.1483	78.60%	90.00%	76.19%	Alta (A)	Casi Seguro
	0.25	0.97	0.1622	52.60%	9.00%			
	0.50	0.88	0.1601	71.20%	1.00%			
PERFIL 2-1 OBRAS	0.00	2.38	0.4146	0.00%	90.00%	0.00%	Baja (B)	Improbable
	0.25	2.28	0.4126	0.00%	9.00%			
	0.50	2.18	0.4110	0.00%	1.00%			
PERFIL 2-2	0.00	1.03	0.1445	42.62%	90.00%	44.51%	Alta (A)	Casi Seguro
	0.25	0.92	0.1422	59.71%	9.00%			
	0.50	0.86	0.1409	78.10%	1.00%			
PERFIL 2-2 OBRAS	0.00	1.33	0.1485	0.00%	90.00%	0.02%	Baja (B)	Improbable
	0.25	1.49	0.2018	0.10%	9.00%			
	0.50	1.40	0.2008	1.31%	1.00%			

Fuente: GEOTECHNICAL

Tabla 46. Factor de seguridad y probabilidad de falla – Sitio 3

Perfil	Condicion Ru	FS	Desvacion Estandar	Probabilidad de Falla - Montecarlo	Peso del Escenario	PF Total	Categoria Amenaza	Probabilidad Relativa
PERFIL 3-1	0.00	1.01	0.1442	46.30%	90.00%	47.32%	Alta (A)	Casi Seguro
	0.25	0.98	0.1419	52.60%	9.00%			
	0.50	0.95	0.1407	91.80%	1.00%			
PERFIL 3-1 OBRAS	0.00	1.52	0.1095	0.00%	90.00%	0.00%	Baja (B)	Improbable
	0.25	1.50	0.1084	0.00%	9.00%			
	0.50	1.35	0.0731	0.00%	1.00%			
PERFIL 3-2	0.00	1.02	0.1413	44.90%	90.00%	45.53%	Alta (A)	Casi Seguro
	0.25	0.99	0.1427	50.70%	9.00%			
	0.50	0.96	0.1419	55.90%	1.00%			
PERFIL 3-2 OBRAS	0.00	1.53	0.1419	0.00%	90.00%	0.00%	Baja (B)	Improbable
	0.25	1.50	0.1398	0.00%	9.00%			
	0.50	1.47	0.1387	0.00%	1.00%			

Fuente: GEOTECHNICAL

Tabla 47. Factor de seguridad y probabilidad de falla – Sitio 4

Perfil	Condicion Ru	FS	Desviacion Estandar	Probabilidad de Falla - Montecarlo	Peso del Escenario	PF Total	Categoria Amenaza	Probabilidad Relativa
PERFIL 4-1	0.00	1.33	0.0821	0.00%	90.00%	7.79%	Alta (A)	Casi Seguro
	0.25	0.92	0.0870	75.40%	9.00%			
	0.50	0.61	0.0766	100.00%	1.00%			
PERFIL 4-1 OBRAS	0.00	1.64	0.1143	0.00%	90.00%	0.21%	Baja (B)	Improbable
	0.25	1.40	0.0965	0.00%	9.00%			
	0.50	1.12	0.0791	20.60%	1.00%			
PERFIL 4-2	0.00	1.48	0.1095	0.00%	90.00%	2.32%	Alta (A)	Probable
	0.25	1.11	0.1001	14.70%	9.00%			
	0.50	0.74	0.0919	100.00%	1.00%			
PERFIL 4-2 OBRAS	0.00	1.96	0.0832	0.00%	90.00%	0.00%	Baja (B)	Improbable
	0.25	1.94	0.0823	0.00%	9.00%			
	0.50	1.58	0.2308	0.00%	1.00%			

Fuente: GEOTECHNICAL

Luego de hacer un análisis a las tablas de resumen, se observa que la probabilidad de falla que se tiene para los taludes en condiciones naturales es casi seguro que estos presenten deslizamientos; por el contrario, al evaluarlo en condiciones críticas aplicando el sismo y la construcción de las obras, estas no presentarían ninguna falla y se da la seguridad de que se mantendrán estables.

Al igual es bien sabido que para el control de los taludes, darles un mayor factor de seguridad y reducir su probabilidad de falla, basta con cambiar la geometría de este, reduciendo la pendiente, creando gradas para generar varios niveles y el aporte que genera crear una cobertura vegetal en todo el talud, como lo aclara Jaime Suarez.

## CONCLUSIONES

Después de la búsqueda de información relacionada con las propiedades mecánicas de la guadua angustifolia Kunth, se encontraron resistencias superiores a 10,000MPa, sin embargo, el código NSR-10 establece valores más conservadores para la parte de diseño afectando estos por factores de seguridad; aun así, las propiedades mecánicas debieron ser modificadas por condiciones ambientales de humedad relativa de 85% y temperatura de 8°C, obteniendo así el posible contenido de humedad que estas podrían llegar a presentar, y poder así modificar las propiedades mecánicas llegando a las que se puedan tener en el sitio, aunque se puede hacer una evaluación de pérdida de las propiedades durante el periodo de duración de las estructuras para obtener mejor resultados.

Analizados los resultados obtenidos según el análisis de las estructuras para las condiciones establecidas, se observó que los elementos más críticos son las pantallas con longitudes de voladizos de 1.20m ya que superaban las deflexiones permitidas y su forma de control fue aumentando la inercia con más cantidad de culmos en el sentido de los empujes, aunque no se recomienda su uso; para que no se tenga inconvenientes con la deflexión se establece que máximo se manejen voladizos de 1.00m para que no se presenten problemas con ningún tipo de suelo, aunque en algunos casos se puede manejar longitudes de 1.20m con un solo culmo bajo las condiciones:  $\gamma = 13\text{kN/m}^3$  y  $E_s = 12\text{MPa}$ ;  $\gamma = 13\text{kN/m}^3$  y  $E_s = 21\text{MPa}$ ;  $\gamma = 15\text{kN/m}^3$  y  $E_s = 21\text{MPa}$ , aclarando que se debe manejar una separación máxima de 0.70m.

Debido a la cantidad de variable que se debían tener presentes en la elaboración de las tablas de diseño, se optó por crearlas teniendo principalmente en cuenta las propiedades geotécnicas de los suelos. Se construyó una tabla para cada combinación de peso específico y módulo de elasticidad, en la cual se deberá ingresar con el ángulo de fricción y longitud de voladizo que se requiera; allí se podrá obtener la longitud de empotramiento que se necesite, las dimensiones de los culmos de guadua, los esfuerzos a flexión y cortante esperados, y la deflexión máxima que se espera presenten las estructuras.

Las terrazas y pantallas tienen como propósito el control de la erosión de los suelos y manejo de aguas en terrenos con pendientes, esta intención se avala luego de establecer que dichas estructuras no presentarían ningún problema en sus elementos de guadua y se garantiza su cumplimiento con la normativa, aclarando que todo esto se hace efectivo siempre y cuando se dimensionen las estructuras bajo las tablas de diseño y se sigan las recomendaciones pertinentes, además del aporte que se genera al talud, ya que se hace necesario el cambio de geometría de

este y en conjunto con la vegetación que se implementa se eleva el factor de seguridad y se reduce la probabilidad de falla.

## RECOMENDACIONES

Debido a los resultados desfavorables en las pantallas que se están construyendo en la localidad del Sumapaz, para darle un mayor factor de seguridad y confianza a estas estructuras, se recomienda la utilización de las tablas de diseño.

Para no tener problemas de deflexión en las terrazas en cualquier terreno, se deberán construir con una separación máxima de 0.70m, una altura libre máxima de 0.80m y 1.20m de empotramiento.

Si en pantallas se quiere tener la garantía de no tener ningún problema estructural, se debe usar una longitud libre de 1.00m con una separación máxima de 0.50m y empotramiento de 2.20m.

En las pantallas con longitudes de 1.20m en las cuales se establece el uso de dos culmos, no se recomienda ya que en la modelación no se tuvo presente procesos de conexión para que funcione efectivamente en la dirección fuerte, por lo tanto, no se garantiza su efectividad.

Las tablas de diseño mencionadas se deben usar para condiciones climáticas que generen un contenido de humedad igual o mayor al 19%, el cual se obtiene a aproximadamente a partir de condiciones climáticas de humedad relativa de 85% y una temperatura de 10°C.

Se debe tener presente que las estructuras tienen como periodo de diseño máximo 8 años, este lapso de tiempo es suficiente para que la vegetación crezca y genere estabilidad al talud y empiece a absorber parte del agua que genera los problemas de erosión.

Ya que estas estructuras en guadua no tienen ningún tratamiento, se pueden ver afectadas sus propiedades a largo plazo. Dicho esto, se plantea la posibilidad de continuar con este trabajo evaluando las posibles afectaciones y consecuencias que puede traer el deterioro de la guadua, estableciendo como un apoyo a ese trabajo la tesis "Deterioro mecánico, físico-químico de la guadua rolliza sometida a factores abióticos de intemperie simulados en laboratorio" de Ferney Peña Rey, ya que allí se establece las afectaciones que puede sufrir la guadua en sus propiedades con el transcurrir del tiempo.

## BIBLIOGRAFÍA

ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SISMICA AIS. NSR-10: Normas colombianas de diseño y construcción sismo-resistente. Bogotá D.C. 2010. (Decreto 926 del 19 de Marzo del 2010)

DAS, Braja. Fundamentos de ingeniería de cimentaciones, séptima edición. México: CENGAGE Learning, 2012. 816 p. ISBN-13: 978-607-481-823-9

CALLE, Zoraida. Estabilización de taludes viales con guadua y aroloco: una alternativa eficiente y de alto impacto social: conferencia 42. En: SIMPOSIO INTERNACIONAL DEL BAMBÚ Y LA GUAUDA (3° : 2015 : Bogotá).

FUERTES SÁNCHEZ, Laura Marcela. Técnicas para prevenir derrumbes. En: UN Periódico. No 120 (Mar. 2009). [en línea] <<http://www.unperiodico.unal.edu.co/en/dper/article/tecnicas-para-prevenir-derrumbes.html> >

GEOTECHNICAL. Sitio 1, Sitio 2, Sitio 3, Sitio 4, Estudio de suelos y análisis de estabilidad de taludes con obras de bioingeniería en la vereda San Antonio - corregimiento de San Juan en la localidad de Sumapaz, Bogotá D.C. Bogotá. GEOTECHNICAL S.A.S, 2016.

SUMAPAZ. Ubicación [en línea]. <<http://www.sumapaz.gov.co/index.php/mi-localidad/conociendo-mi-localidad/auto-generate-from-title>> [citado en 1 de junio de 2016]

LUNA, Patricia; TAKEUCHI, Caori; GRANDOS, Gustavo; LAMUS, Fabian; LOZANO, Jorge. Metodología de diseño de estructuras en guadua angustifolia como material estructural por el método de esfuerzos admisibles. En: Educación en ingeniería. No 11 (Junio. 2011); p. 66-75.

MONTOYA ARANGO, Jorge; OROZCO HINCAPIÉ, Carlos. Fundamentos prácticos del secado de la guadua – Bambú. Pereira: Universidad Tecnológica e Pereira, 2008.

PEÑA REY, Ferney Oswaldo. Deterioro mecánico, físico-químico de la guadua rolliza sometida a factores abióticos de intemperie simulados en laboratorio. Bogotá, 2010, 172h. Tesis (Magister en Ingeniería). Universidad de los Andes. Facultad de Ingenierías. Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental.

RIVERA POSADA, José Horacio. Sistemas de drenaje con filtros vivos para la estabilización de movimientos masales en zonas de ladera. En: Avances técnicos Cenicafé. Avance 413 (Nov. 2011)

SARMIENTO JURADO, Juan Carlos. Propuesta de factores de resistencia para el diseño de elementos estructurales en guadua angustifolia Kunth. Bogotá, 2010, 125h. Tesis de grado (Ingeniero Civil). Universidad de los Andes. Facultad de Ingenierías. Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental. Disponibles en el catálogo en línea de la Biblioteca de la Universidad de los Andes: <<https://biblioteca.uniandes.edu.co> >

SUÁREZ, Jaime. Deslizamientos. Tomo II: Técnicas de remediación; Capítulo 2 [En línea] <<http://www.erosion.com.co/deslizamientos-tomo-ii-tecnicas-de-remediacion.htm>> [Citado en 07 de septiembre de 2015]

UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y DISTANCIA. Capítulo 8: Obras de estabilización y bioingeniería [en línea]. <[http://datateca.unad.edu.co/contenidos/30160/capitulo\\_8\\_obras\\_de\\_estabilizacion\\_y\\_bioingenieria.html](http://datateca.unad.edu.co/contenidos/30160/capitulo_8_obras_de_estabilizacion_y_bioingenieria.html)> [Citado en 27 de noviembre de 2015]

QUIROZ TORRES, Luis Gabriel. Análisis y diseño de estructuras con SAP2000 – versión 12. Perú: Macro E.I.R.L., 2009. 385 p. ISBN 978-612-4034-10-7